

## Popularnonaukowe streszczenie projektu

### *Asymptotyczna swoboda w najwcześniejszej fazie zderzeń relatywistycznych jonów*

Chwilę po Wielkim Wybuchu, gdy Wszechświat był bardzo młody, mały i gorący, wypełniała go materia w postaci *plazmy kwarkowo-gluonowej*. Obecnie fizycy potrafią wytworzyć krople takiej plazmy, zderzając najcięższe jądra atomowe tak szybkie niemal jak światło. Poznawane własności plazmy okazują się zdumiewające, trudne do pojęcia, ale największą tajemnicą jest zachowanie plazmy zaraz po jej narodzinach. Celem projektu jest uchwycenie praw rządzących zachowaniem takiej właśnie nierównowagowej plazmy kwarkowo-gluonowej.

Kwarki i gluony to składniki cząstek elementarnych podlegających tzw. *oddziaływaniom silnym*, którym zawdzięczamy, w szczególności, istnienie jąder atomowych. Wspomnianymi cząstkami są *hadrony*, do których w szczególności należą *protony* i *neutrony* tworzące jądra atomowe. Kwarki i gluony obdarzone są *ładunkami kolorowymi* – czymś w rodzaju ładunków elektrycznych – i mają tę szczególną cechę, że istnieją jedynie w układach kolorowo neutralnych, takich jak wspomniane protony i neutrony, gdzie trzy podstawowe kolory kwarków mieszają się w biel. Wspomniana cecha stanowi treść *hipotezy uwięzienia*, która wyklucza istnienie pojedynczych swobodnych kwarków, nie wyklucza natomiast istnienia układu bardzo wielu kwarków i gluonów uwolnionych z wnętrza hadronów i tworzących makroskopowy układ, który jako całość jest kolorowo neutralny. Taki właśnie obiekt nazywany jest plazmą kwarkowo-gluonową.

*Chromodynamika kwantowa* – teoria, która rządzi zachowaniem niosących kolorowe ładunki kwarków i gluonów – ujawnia unikalną własność, sprawiającą, że siły działające między kwarkami i gluonami maleją lub, równoważnie, maleją kolorowe ładunki, gdy zmniejsza się odległość między oddziaływującymi cząstkami. Mówimy, że układ staje się asymptotycznie swobodny lub nieoddziaływujący.

Plazmę złożoną z kwarków i gluonów można otrzymać, jeśli materię jądrową zgnieciemy do odpowiednio wielkiej gęstości lub ją podgrzejemy. Fakt, że bardzo gęsta materia jądrowa może istnieć jedynie w formie plazmy kwarkowo-gluonowej prowadzi automatycznie do wniosku, że w odpowiednio wczesnej epoce ewolucji Wszechświata jego materię stanowiła właśnie plazma. Przypuszcza się również, że plazma kwarkowo-gluonowa skrywa się obecnie w gęstych jądrach niektórych gwiazd neutronowych. Najbardziej jednak intrygująca jest możliwość wytwarzania plazmy kwarkowo-gluonowej w warunkach laboratoryjnych, w zderzeniach ciężkich i bardzo rozpędzonych jąder atomowych. Jest to przedmiotem wielkich programów eksperymentalnych. Zadaniem fizyków teoretyków jest natomiast przedstawienie adekwatnego opisu zderzeń relatywistycznych jonów.

W ramach projektu zamierzamy podjąć dwa dość ogólnej natury teoretyczne problemy dotyczące plazmy kwarkowo-gluonowej, pochodzącej z najwcześniejszej fazy zderzeń rozpędzonych jonów. Pierwszą i główną jest kwestia, czy plazma oddziałuje silnie czy słabo, czy przypomina gaz idealny, czy też siły w niej występujące dominują nad zachowaniem plazmy. Ujmując rzecz bardziej technicznie, pytamy czy reżim asymptotycznej swobody jest osiągnięty na najwcześniejszej fazie zderzenia jądrowego, czy stała sprzężenia jest wtedy duża, czy mała.

Drugie zagadnienie, które chcemy przebadać realizując projekt, dotyczy zachowania nierównowagowej plazmy z najwcześniejszej fazy zderzenia relatywistycznych jonów przy założeniu, że układ słabo oddziałuje, lecz występują w nim silne pola chromodynamiczne. W analogii do plazmy elektromagnetycznej nazywamy taką plazmę *turbulentną* i pytamy jak taki układ ewoluuje w czasie i jak ciężkie kwarki – powabne i piękne – z nim oddziałują. Planujemy wyjaśnić jak przejściowy stan turbulentnej plazmy, którą przemierzają ciężkie kwarki, wpływa na ich charakterystyki.