

## Uwolnić kwarki!

Dwie dekady temu Grzegorz Białkowski zastanawiał się na naszych łamach, czy kwarki istnieją bardziej niż smoki. Przez ten czas kwarki zadomowiły się w opisie materii na najbardziej podstawowym poziomie. Nikomu już nie przeszkadza, że kwarki skazane są na uwięzienie (*confinement*) we wnętrzu hadronów – układów złożonych z trzech kwarków (bariony), trzech antykwarków (antybariony) lub pary kwark-antykwark (mezony). Gorzej, przyzwyczailiśmy się, że trwałe są tylko układy homomaterialne, podczas gdy układy heteromaterialne są jedynie przelotne. Ot, zwykła ludzka zniczulica.

Jest jednak na świecie miejsce, w którym wolność jest największą wartością. U stóp Statui Wolności od kilku lat trwa walka o uwolnienie (*deconfinement*) uwięzionych w hadronach kwarków.

Ślask ku swobodzie wskazały prace przeprowadzone w europejskim bastionie niezależności – Szwajcarii. Wyniki eksperymentów CERNowskich wskazywały na prawdopodobne tworzenie się na krótką chwilę (rzędu  $10^{-24}$  s, czyli czas potrzebny na propagację sygnału z prędkością światła przez nukleon) stanu zbudowanego z wolnych kwarków i gluonów, tzw. plazmy kwarkowo-gluonowej.

Obecnie działający oswobodziciel kwarków nazywa się RHIC (*Relativistic Heavy Ion Collider* – Relatywistyczny Zderzacz Ciężkich Jonów) i pracuje w Brookhaven National Laboratory na Long Island. Pomysł jest prosty. Teoria opisująca zachowanie kwarków – chromodynamika kwantowa – przewiduje, że kwarki powinny zmienić zachowanie po solidnym podgrzaniu albo stłoczeniu. W tym celu należy oskubać z elektronów atomy np. złota i odpowiednio mocno huknąć jednym o drugi. Tym zajmuje się RHIC. Rozpędza on przeciwbieżne wiązki całkowicie zjonizowanego złota do energii 100 razy większej niż jego masa spoczynkowa (100 GeV), odpowiadającej prędkości zaledwie o 5 promili mniejszej od prędkości światła i zderza je. Jeżeli przy przecięciu wiązek dwa lecące naprzeciwko jądra złota dość dokładnie się trafią, to na moment powstaje układ o temperaturze rzędu biliona stopni. Obliczenia na siatkach (problemy chromodynamiki kwantowej tylko w szczególnych przypadkach dają się rozwiązać analitycznie – radzimy sobie, przybliżając ciągłą czasoprzestrzeń przez punkty kratowe – siatki – i zaprzęgając do pracy najszybsze z dostępnych komputery) wskazują, że w tak ekstremalnych warunkach kwarki powinny znajdować się w poszukiwanym stanie skupienia prawie nieoddziałujących swobodnych partonów. Tu pojawia się kolejny problem. Nie ma sposobu, żeby bezpośrednio zaobserwować ten tworzący się na zaledwie 10 ys stan (yocto to przedrostek odpowiadający  $10^{-24}$ ). Zamiast tego obserwuje się tysiące hadronów, tak jak na pokazanej wizualizacji pojedynczego przypadku zarejestrowanej przez detektor STAR. Oprócz STAR działają trzy inne detektory: PHOBOS, PHENIX i BRAHMS. Rycina uprzytomnia trudności techniczne, którym muszą sprostać detektory. Jednak nawet najdokładniejsza rekonstrukcja pojedynczego przypadku niewiele daje. Dopiero żmudna

analiza statystyczna wielu przypadków pozwala na poznanie charakterystyk tworzącego się, być może, nowego stanu materii.

W kwietniu ogłoszono, że nowy stan materii został odkryty [1]. Przyroda po raz kolejny nas zaskoczyła i zamiast oczekiwanego gazu wolnych partonów pozwoliła odkryć coś, co zachowaniem przypomina idealną ciecz. Fachowo nazywa się to plazmą silnie oddziałującą.

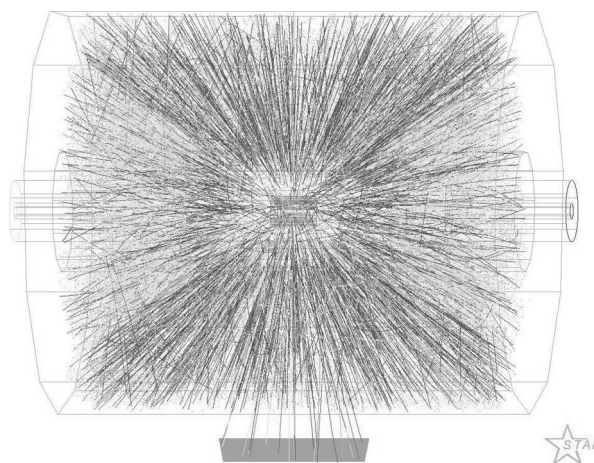
W informacjach dla prasy podkreśla się odkrycie nowego i to w dodatku nieoczekiwanego stanu materii. Towarzyszący odkryciu dokument zmusza jednak do zastanowienia, co najmniej z jednego powodu. Dlaczego praca ta liczy ponad trzysta stron (i to bynajmniej nie ze względu na szczegóły techniczne)? Do tej pory najdłuższą opublikowaną pracą było chyba pierwsze doniesienie na temat odkrycia topu – najcięższego kwarku. Liczyła ona prawie 200 stron i właśnie dlatego nie przekonała ostatecznie nikogo. Jeżeli o odkryciu nie daje się napisać na kilku stronach, to znaczy, że nie ma bezapelacyjnego dowodu.

Podobnie, a w pewnym sensie dużo gorzej, jest tym razem. Praca nie tylko jest długa, ale również źle zilustrowana. Nikt nie zadał sobie trudu, żeby rysunki przedstawić w sposób ułatwiający ich zrozumienie.

Problem polega na tym, że nie udało się ani zaobserwować przejścia fazowego, czyli skokowej zmiany jakiejś obserwowanej wielkości wraz ze wzrostem temperatury (parametrem wiążącym się z temperaturą jest *centralność* zderzenia mierzona np. liczbą cząstek emitowanych pod dużymi kątami w stosunku do osi wiązek), ani zaobserwować czegoś, czego nie dałoby się wytłumaczyć bez odwołania się do uwolnionych kwarków.

Tak więc nowy „ciekły” stan materii jądrowej udało się zarejestrować, ale nie wiadomo jeszcze, czy to już plazma kwarkowo-gluonowa.

Jeżeli kwarków jeszcze nie udało się uwolnić, to przynajmniej udało się je ugotować.



Wizualizacja cząstek naładowanych rejestrowanych w pojedynczym centralnym zderzeniu jąder złota w detektorze STAR.

Piotr ZALEWSKI

[1] [http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR\\_display.asp?prID=05-38](http://www.bnl.gov/bnlweb/pubaf/pr/PR_display.asp?prID=05-38)