

## Badanie produkcji powabu w zderzeniach ciężkich jonów

Użyty w tytule powab oznacza jedną z cech hadronów - silnie oddziałujących cząstek elementarnych. Hadrony są z kolei zbudowane z partonów - kwarków i gluonów, będących swoistymi cząstkami subelementarnymi. Partony posiadają specyficzny dla siebie ładunek, zwany kolorem, umownie przybierający podstawowe wartości: czerwone, zielone i niebieskie. To właśnie kolor odpowiada za silne oddziaływanie składające partony w nukleony - protony i neutrony - a te z kolei - w jądra atomowe. Teorią silnych oddziaływań jest Chromodynamika Kwantowa (QCD). Hadrony są zbudowane z partonów tak, że same są bezkolorowe. Kolory partonów nie są więc dziedziczone przez hadrony. Inaczej jest z innymi ładunkami partonów - ładunkiem elektrycznym, izospinem i smakiem. Ładunki smaków to *dziwność* posiadana przez kwark  $s$ , *powab* posiadany przez kwark  $c$ , *prawda* przenoszona przez kwark  $t$  i *piękno* przenoszone przez kwark  $b$ . Kwarki  $s, c, t, b$ , uporządkowane tu według swych rosnących mas, są w tej hierarchii poprzedzane przez najlżejsze kwarki  $u$  i  $d$  mające jednakowe masy, ale różniące się trzecią składową izospinu  $\pm 1/2$ . Gluony są bezmasowe i występują w ośmiu stanach wielokolorowych. Każdy kwark  $q$  ma swego antykwarka  $\bar{q}$  - o tej samej masie, ale z przeciwnymi ładunkami. Wszystkie hadrony mogą być rozmieszczone w strukturach zbudowanych z par kwark-antycwark  $q\bar{q}$  (mezony) lub trzech kwarków  $qqq$  (bariony) - z kwarkami sklejanymi przez gluony.

Prawie wszystkie hadrony Wszechświata to kwarki  $u$  i  $d$ . Cięższe smaki  $s, c, t, b$  pojawiają się w szczególnych warunkach, gdy "zwykle" hadrony zderzają się ze sobą nader energicznie. Energia wzbudzenia objawia się ( $E = mc^2$ ) produkcją nowych cząstek, a jej zwiększanie generuje hadrony wyższych smaków, zbudowanych z kwarków cięższych od najlżejszych  $u$  i  $d$ . Podobnie było gdy Wielki Wybuch inicjował Wszechświat, podobnie jest we wnętrzu gwiazd i wtedy gdy strumień cząstek z akceleratora zderza się z tarczą (eksperyment z nieruchomą tarczą) lub też zderza się inną, przeciwnie skierowaną wiązką cząstek (eksperyment zderzeniowy). Takie eksperymenty są okazją odtworzenia zjawisk i sił działających na najbardziej podstawowym, partonowym poziomie, odtworzenia warunków z wnętrza gwiazd, nie wyłączając nawet niektórych ze zdarzeń z Wielkiego Wybuchu.

Wyjątkowo ciekawe są sytuacje gdy zderzającymi się obiektami będą nie pojedyncze cząstki, ale jądra. Zgodnie z teoretycznymi przewidywaniami opartymi na QCD, przy takich zderzeniach może pojawić się nowa postać materii, rodzaj gorącej i gęstej zupy partonowej, zwanej Plazmą Kwarkowo-Gluonową (QGP). "Gorąca" oznacza tu temperaturę rzędu  $10^{12}$  °K, a "gęsta" znaczy 3-15 razy więcej niż gęstość jądra atomowego. Głównym przy tym problemem, niezależnie od skomplikowania technicznego takiego eksperymentu, jest znalezienie oznak pojawienia się stanu QGP. Plazma ta, składająca się z "uwolnionych" kwarków i gluonów schładza się w czasie  $10^{-14}$ s, partony przechodzą w stan hadronowego "uwięzienia", a powstałe przy tym hadrony trafiają do detektorów. W takim gąszczu danych doświadczalnych trzeba teraz odnaleźć ewentualne sygnały świadczące o obecności QGP.

Eksperyment NA61/SHINE, prowadzony na supersynchrotronie CERN SPS, jest ciężkojonowym eksperymentem typu stałej tarczy. Jądra, od Be+Be po Pb+Pb zderzają się tam przy różnych energiach w konfiguracjach wiązka-tarcza. Głównym celem projektu składanego przez Polsko-Norweskie Konsorcjum uczestniczące w eksperymencie jest rozbudowa podstawowej części detektora - Komór Czasu Przelotu (TPC). Rozbudowa ta umożliwi rejestrację powabnych mezonów D o składzie kwarkowym typu kwark powabny/niepowabny. Od dawna istnieje dobrze uzasadniona teoretycznie hipoteza, że oznaką pojawienia się QGP byłoby tłumienie produkcji niepowabnych mezonów  $J/\Psi$ , o strukturze  $c\bar{c}$ , w porównaniu z produkcją w tymże środowisku powabnych mezonów D. Wciąż bowiem brak jednoznacznych dowodów na powstawanie plamy QGP spełniającej teoretyczne oczekiwania, mimo mnogości danych doświadczalnych z ciężkojonowych zderzeniowych doświadczeń na akceleratorach RHIC i LHC.

"Powabny" program badawczy NA61/SHINE, będący naturalnym rozwinięciem badań dotyczących przejścia do stanu QGP, wymaga dziesięciokrotnienia wydajności detektorów. Wiąże się z pytaniami związanymi z używaniem obecnych statystycznych i dynamicznych modeli w rozszerzonym zakresie mas kwarkowych. Bezpośrednim celem badawczym jest otrzymanie unikalnych wyników doświadczalnych o liczebności powstających par  $c\bar{c}$ , mierzonych w pełnej przestrzeni fazowej. Ponadto, zostaną otrzymane unikalne wyniki dotyczące wpływu energii zderzeń oraz wielkości systemów na procesy zderzeniowe ciężkich jonów. Powinno to pomóc odpowiedzieć na wciąż aktualne istotne pytania:

- Jaki jest mechanizm produkcji "otwartego" powabu?
- Jak uwalnianie się partonów wpływa na pojawienie się stanów otwartego powabu?
- Jak tworzenie się QGP wpływa na pojawienie się mezonów  $J/\Psi$ ?