



Kraków, 23 listopada 2023

LHCb: W korelacjach widać niuanse procesu narodzin cząstek

Wysokoenergetyczne kolizje jonów w Wielkim Zderzaczu Hadronów są zdolne wytworzyć plazmę kwarkowo-gluonową. Tylko czy do jej powstania naprawdę są konieczne ciężkie jądra atomowe? A nade wszystko: jak z takiej plazmy rodzą się później cząstki wtórne? Kolejnych poszlak w poszukiwaniach odpowiedzi na te pytania dostarcza najnowsza analiza zderzeń protonów z protonami lub jonami, zaobserwowanych w ramach eksperymentu LHCb.

Gdy przy największych energiach w akceleratorze LHC zderzają się ciężkie jądra atomowe, na niewyobrażalnie krótką chwilę powstaje plazma kwarkowo-gluonowa. To egzotyczny stan materii, w którym kwarki i gluony, w normalnych warunkach uwięzione w protonach czy neutronach, przestają być ze sobą ściśle związane. Stan ten nie jest trwały: wraz ze spadkiem temperatury kwarki i gluony błyskawicznie hadronizują, czyli ponownie się ze sobą wiążą, produkując strumienie rozbiegających się pod różnymi kątami cząstek wtórnych. Szczegóły procesu hadronizacji – zjawiska o krytycznym znaczeniu dla naszego rozumienia fundamentów fizycznej rzeczywistości – wciąż pozostają zagadką. Nowych wskazówek dostarczyły właśnie zakończone analizy zderzeń z eksperymentu LHCb, zrealizowane z udziałem fizyków z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie. Badania te, po stronie polskiej sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki, zaprezentowano niedawno na łamach czasopisma „*Journal of High Energy Physics*”.

„Hadronizacja zachodzi w czasach rzędu jektosekund, czyli bilionowych części jednej bilionowej sekundy, na odległościach o rozmiarach femtometrów, czyli milionowych części jednej miliardowej metra. Zjawisk zachodzących tak ekstremalnie szybko i w tak mikroskopijnych skalach jeszcze długo nie będziemy potrafili obserwować bezpośrednio – a być może nawet nigdy. O tym, co się dzieje z plazmą kwarkowo-gluonową, próbujemy więc wnioskować przyglądając się pewnym szczególnym korelacjom kwantowym między cząstkami wyprodukowanymi w zderzeniach. Takie analizy prowadzimy od lat, wraz ze wzrostem ilości przetworzonych danych stopniowo budując coraz dokładniejszy obraz zjawiska”, tłumaczy prof. dr hab. inż. Marcin Kucharczyk (IFJ PAN), współautor artykułu.

Na czym polegają korelacje kwantowe? W mechanice kwantowej do opisu cząstek używa się funkcji falowych. Jeśli w badanym układzie znajduje się wiele cząstek, ich funkcje falowe mogą się nakładać. Analogicznie jak w przypadku zwykłych fal, dochodzi wówczas do interferencji. Gdy w jej wyniku funkcje falowe się wygaszają, mówi się o korelacjach Fermiego-Diraca, jeśli się wzmacniają – o korelacjach Bosego-Einsteina. Właśnie te ostatnie korelacje, charakterystyczne dla cząstek identycznych, przykuły uwagę naukowców.

Badacze skoncentrowali się na korelacjach Bosego-Einsteina pojawiających się między parami pionów, czyli mezonów pi. Analizy podobnego typu były już prowadzone na danych z innych detektorów działających przy akceleratorze LHC, lecz dotyczyły wyłącznie cząstek rozbiegających się z punktu zderzenia pod dużymi kątami. Tymczasem wyjątkowa budowa detektora LHCb pozwoliła

fizykom po raz pierwszy przyjrzeć się cząstkom emitowanym „do przodu”, pod kątami odchylonymi od kierunku pierwotnej wiązki o nie więcej niż kilkanaście stopni. Otrzymane wyniki dopełniają więc obraz zjawiska zbudowany dzięki pomiarom w pozostałych eksperymentach przy LHC.

Wybór kierunku „do przodu” nie był jedynym novum. Analizę wykonano dla tzw. małych systemów, czyli dla zderzeń proton-proton, proton-jon oraz jon-proton (dwa ostatnie przypadki nie są identyczne, ponieważ w jednym przypadku z dużą prędkością porusza się tylko jeden proton, podczas gdy w drugim jądro składające się z wielu protonów i neutronów). Naukowcom chodziło m.in. o zdobycie informacji, czy zjawiska kolektywne obserwowane w zderzeniach jądro-jądro, związane z plazmą kwarkowo-gluonową, mogą się pojawiać także w kolizjach mniejszych układów cząstek.

„Korelacje, które znaleźliśmy, poddawaliśmy dalszym weryfikacjom. Testowaliśmy na przykład, jak zależą one od różnych zmiennych, takich jak krotność cząstek naładowanych. Co więcej, ponieważ wszystkie zderzenia zostały zarejestrowane za pomocą tych samych detektorów i w tych samych warunkach, mogliśmy łatwo sprawdzać, czy nasze korelacje zmieniają się w różnych konfiguracjach kolidujących układów cząstek”, mówi prof. Kucharczyk.

Wnioski płynące z analiz są interesujące. Wszystko wskazuje na to, że plazma kwarkowo-gluonowa może powstawać w LHC nawet w kolizjach pojedynczych protonów. Źródła emisji cząstek wtórnych w zderzeniach proton-proton wydają się być przy tym mniejsze niż w zderzeniach mieszanych. Zauważono także istnienie ciekawej zależności między korelacjami a kątami względem osi wiązki cząstek wyprodukowanych w zderzeniach.

„Obserwacja korelacji w małych systemach wywołała dyskusję na temat ich pochodzenia. W szczególności intrygujące jest pytanie, czy mają one to samo źródło co w zderzeniach ciężkich jonów, a co za tym idzie, jakie właściwie warunki są potrzebne do wytworzenia plazmy kwarkowo-gluonowej? Niektóre z obecnych modeli tej plazmy zakładają występowanie w niej zjawisk kolektywnych, związanych z przepływami. Rezultaty naszych analiz wydają się być bliższe właśnie takim modelom hydrodynamicznym”, dodaje prof. Kucharczyk.

Tylko czy w trakcie hadronizacji rzeczywiście mamy do czynienia z przepływami plazmy kwarkowo-gluonowej? Obecnie istniejące modele teoretyczne zjawiska mają charakter fenomenologiczny, co oznacza, że trzeba je kalibrować za pomocą danych otrzymywanych z eksperymentów. Mimo to żaden z modeli nie potrafi odtwarzać wyników pomiarów z zadowalającą dokładnością. Wygląda więc na to, że nim poznamy prawdziwą naturę procesów zachodzących w plazmie kwarkowo-gluonowej, fizyków czeka jeszcze wiele pracy.

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Corocznie Instytut jest organizatorem lub współorganizatorem wielu międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych oraz szeregu seminariów i innych spotkań naukowych. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”, któremu, na lata 2012-2017, nadany został status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW). Wiele projektów i przedsięwzięć realizowanych przez Instytut jest wpisanych na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej (PMIB). Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W kategoryzacji MEIN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.

KONTAKT:

prof. dr hab. inż. **Marcin Kucharczyk**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628050
email: marcin.kucharczyk@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Study of the Bose-Einstein correlations of same-sign pions in proton-lead collisions”
The LHCb collaboration
Journal of High Energy Physics, 172, 2023
DOI: [10.1007/JHEP09\(2023\)172](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2023)172)

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.ifj.edu.pl/>
Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>
Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

IFJ231123b_fot01s.jpg **HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2023/11/23/IFJ231123b_fot01.jpg
Wizualizacja strumieni cząstek wtórnych zarejestrowanych przez detektor LHCb w kilku zderzeniach proton-proton. (Źródło: LHCb Collaboration / IFJ PAN)