



Kraków, 9 maja 2019

„Ogniste smugi” coraz bardziej realne w zderzeniach jąder atomowych i protonów

Zderzenia jąder ołowiu zachodzą w ekstremalnych warunkach fizycznych. Ich przebieg można opisać za pomocą modelu zakładającego, że przekształcająca się, ekstremalnie gorąca materia – plazma kwarkowo-gluonowa – płynie w postaci setek smug. Dotychczas „ogniste smugi” wydawały się konstrukcjami czysto teoretycznymi. Jednak najnowsza analiza zderzeń pojedynczych protonów wzmacnia tezę, że odpowiada im rzeczywiste zjawisko.

W 2017 roku fizycy z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie przedstawili przemawiający do wyobraźni model zjawisk zachodzących w trakcie zderzeń jąder ołowiu przy wysokich energiach. W modelu założono, że powstająca w zderzeniach egzotyczna materia, plazma kwarkowo-gluonowa, oddala się od miejsca kolizji w formie licznych smug, rozciągniętych wzdłuż pierwotnego kierunku ruchu jąder. Smugi te powinny poruszać się tym szybciej, im bardziej są odległe od osi zderzenia. Obecnie badacze zastosowali model „smug ognistych” do znacznie prostszych zderzeń proton-proton. Gdy porównali swoje przewidywania z danymi zebranymi w eksperymentach w europejskim ośrodku badań jądrowych CERN, czekała ich nie lada niespodzianka.

Jądra ołowiu zawierają ponad dwieście protonów i neutronów. Gdy dwa tak duże obiekty się zderzają, przy odpowiednio wielkich energiach powstaje płynna mieszanina kwarków i gluonów (cząstek w normalnych warunkach zlepiających kwarki w protony i neutrony). Plazma kwarkowo-gluonowa błyskawicznie ekspanduje i równocześnie się wychładza. W rezultacie istnieje tak krótko i w tak małym obszarze przestrzeni (o rozmiarach zaledwie setek milionowych części jednej miliardowej metra), że nie potrafimy jej bezpośrednio obserwować. Na dodatek interakcje między cząstkami plazmy są zdominowane przez oddziaływania silne i są tak skomplikowane, że z ich opisem współczesna fizyka po prostu sobie nie radzi. Ślady plazmy kwarkowo-gluonowej widać tylko pośrednio, w cząstkach wybiegających z miejsca zderzenia. Teoria przewiduje bowiem, że jeśli plazma kwarkowo-gluonowa rzeczywiście się wytworzyła, detektory powinny rejestrować wyraźnie większą liczbę cząstek dziwnych (a więc takich, które zawierają kwarki dziwne s).

„Zderzenia proton-proton w akceleratorach w CERN produkują mało cząstek dziwnych. Powszechnie przyjmuje się więc, że w ich trakcie plazma kwarkowo-gluonowa nie powstaje. Uwzględniliśmy ten fakt w naszym modelu smug ognistych, po czym skonfrontowaliśmy jego przewidywania z danymi z eksperymentu NA49 na akceleratorze SPS. Zgodność była zdumiewająco dobra. Można więc powiedzieć, że teraz 'zobaczyliśmy' smugę ognistą w jakościowo innych warunkach fizycznych, tam, gdzie w ogóle się jej nie spodziewaliśmy!”, tłumaczy dr hab. Andrzej Rybicki (IFJ PAN), jeden z autorów publikacji w czasopiśmie „Physical Review C”.

„Kolizję dwóch jąder ołowiu musieliśmy modelować jako złożenie kilkuset smug. W takich warunkach trudno powiedzieć cokolwiek o własnościach pojedynczej smugi. Jednak gdy z modelu wyekstrahowaliśmy rozkład pospieszności, czyli relatywistycznej prędkości cząstek produkowanych przez pojedynczą smugę, okazało się, że jej kształt bardzo dobrze opisuje prawdziwe dane z pomiarów produkcji cząstek w zderzeniach proton-proton!”, precyzuje mgr Mirek Kielbowicz, doktorant IFJ PAN.

Aby wykresy, otrzymane za pomocą modelu smug ognistych zbudowanego dla zderzeń jąder ołowiu, zgadzały się z danymi eksperymentalnymi dla zderzeń proton-proton, należało je przeskalować o czynnik 0,748. Krakowscy badacze wykazali, że parametr ten nie jest swobodny. Pojawia się on po uwzględnieniu w bilansie energetycznym zmian związanych z różną produkcją cząstek dziwnych i można go odtworzyć z danych eksperymentalnych. Był to kolejny silny argument wzmacniający fizyczną poprawność modelu.

„Pracuję nad modelem smug ognistych w ramach mojej pracy magisterskiej, więc nie zdziwiło mnie, że opisuje on dane ze zderzeń jądro-jądro w sporym zakresie energii. Kiedy jednak zobaczyłem, że wyekstrahowana przez nas funkcja fragmentacji tak dobrze zgadza się z danymi ze zderzeń proton-proton, trudno było ukryć zaskoczenie”, wspomina Łukasz Rozpłochowski, student Uniwersytetu Jagiellońskiego współpracujący z grupą z IFJ PAN.

Materia powstająca w zderzeniach proton-proton, chłodniejsza i jakościowo inna niż plazma kwarkowo-gluonowa, wydaje się więc zachowywać jak pojedyncza ognista smuga. Jej pewne własności – takie jak prędkości emitowanych cząstek czy sposoby ich rozpadów – z jakiegoś powodu są zdumiewająco podobne do własności ognistych smug plazmy kwarkowo-gluonowej. A ponieważ plazma kwarkowo-gluonowa tworzy się przy większych energiach i w zderzeniach obiektów kwantowych o dużej złożoności, uprawnione staje się stwierdzenie, że to ona dziedziczy niektóre cechy materii formującej ogniste smugi w zderzeniach proton-proton.

„Gdy opisywaliśmy zderzenia jądro-jądro, ogniste smugi były dla nas jedynie pewnymi abstrakcyjnymi konstrukcjami, czymś czysto teoretycznym. Nie wnikałyśmy w ich fizyczną naturę, w to, czym mogą być w rzeczywistości. Przeżyliśmy prawdziwy wstrząs, gdy zestawiając dane eksperymentalne z naszym modelem odkryliśmy, że to, co powstaje w zderzeniach proton-proton, zachowuje się dokładnie tak jak nasza pojedyncza ognista smuga”, podsumowuje dr Rybicki.

Wyniki najnowszej analizy, przeprowadzonej przez krakowskich fizyków w ramach grantu SONATA BIS nr 2014/14/E/ST2/00018 Narodowego Centrum Nauki, wzmacniają zatem przypuszczenie, że ognistym smugom, wedle teorii formującym się w zderzeniach proton-proton i jądro-jądro, odpowiadają rzeczywiste procesy fizyczne zachodzące w przepływach ekstremalnie gorącej materii kwantowej.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, 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 czasopismach naukowych. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W klasyfikacji MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr hab. **Andrzej Rybicki**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628447
email: andrzej.rybicki@ifj.edu.pl

prof. dr hab. **Antoni Szczurek**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628212
email: antoni.szczurek@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „Rapidity distributions of pions in p+p and Pb+Pb collisions at energies available at the CERN Super Proton Synchrotron”
A. Rybicki, A. Szczurek, M. Kielbowicz, A. Marcinek, V. Ozvenchuk, Ł. Rozpłochowski
Physical Review C 99, 024908
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.99.024908>

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:

IFJ190509b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2019/05/09/IFJ190509b_fot01.jpg

„Ogniste smugi” do tej pory służyły do opisu ultrarelatywistycznych zderzeń jąder ołowiu. Naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie znaleźli je teraz także w znacznie prostszych zderzeniach, zachodzących między pojedynczymi protonami. (Źródło: IFJ PAN, Dual Color)