



Kraków, 23 maja 2018

Asymetria w produkcji materii i antymaterii może zaburzać detekcję neutrin

Z danych zebranych przez detektor LHCb przy Wielkim Zderzaczu Hadronów wynika, że cząstki znane jako mezony powabne oraz ich antymaterialne odpowiedniki nie są wytwarzane w idealnie równych proporcjach. Fizycy z Krakowa zaproponowali własne wyjaśnienie tego zjawiska i przedstawili związane z nim przewidywania, o konsekwencjach interesujących zwłaszcza dla astronomii wysokoenergetycznych neutrin.

W pierwszych chwilach po Wielkim Wybuchu Wszechświat był wypełniony równymi ilościami cząstek i antycząstek. Gdy stygł, materia i antymateria zaczęły łączyć się ze sobą i anihilować, zamieniając się w promieniowanie. Dlaczego część materii, z której zbudowany jest dzisiejszy Wszechświat, przetrwała pożogę? Aby rozszyfrować tę wielką zagadkę współczesnej nauki, fizycy starają się lepiej poznać wszelkie mechanizmy odpowiadające za nawet najmniejsze dysproporcje w produkcji cząstek i antycząstek. Grupa naukowców z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie, związana z eksperymentem LHCb przy Wielkim Zderzaczu Hadronów w Genewie, przyjrzała się ostatnio jednemu z takich procesów: asymetrii pojawiającej się przy narodzinach mezonów i antymezonów powabnych. Co ciekawe, wnioski z analizy mogą mieć bardzo wymierne znaczenie praktyczne.

Zgodnie ze współczesną wiedzą, kwarki są najważniejszymi niepodzielnymi cegiełkami, z których składa się materia. Znamy je w sześciu rodzajach: są to kwarki górne (u), dolne (d), dziwne (s), powabne (c), piękne (b) i prawdziwe (t), przy czym każdy rodzaj ma także swój antymaterialny odpowiednik (często oznaczany kreską nad literą, czytana jako „bar”). Kwarki na ogół tworzą się w parach kwark-antykwar. Są cząstkami ekstremalnie towarzyskimi: niemal natychmiast po powstaniu wiążą się w hadrony, czyli zespoły dwóch, trzech, a niekiedy i więcej kwarków bądź antykwarków, spajanych za pomocą gluonów (czyli cząstek przenoszących silne oddziaływanie jądrowe). Proces łączenia się kwarków/antykwarów w kompleksy to tzw. hadronizacja.

Nietrwale hadrony zbudowane z pary kwark-antykwar nazwano mezonami. Jeśli w mezonie któryś z kwarków jest powabny, cząstkę określa się mianem mezonu powabnego i oznacza literą D (lub dla antykwarku powabnego: \bar{D} z kreską). Para zbudowana z kwarku powabnego i antykwarku dolnego to mezon D^+ , a składająca się z antykwarku powabnego i kwarku dolnego to mezon D^- .

W pomiarach przeprowadzonych w ostatnim ćwierćwieczu, w tym niedawno w ramach eksperymentu LHCb, zauważono ciekawą asymetrię. Okazało się, że mezony D^+ i D^- nie zawsze są produkowane w dokładnie tych samych proporcjach. W przypadku procesów obserwowanych w LHCb, inicjowanych w zderzeniach przeciwbieżnych wiązek protonów o dużych energiach, asymetria ta była niewielka, poniżej jednego procenta.

„Kwarki powabne powstają głównie podczas zderzeń gluonów, a po narodzinach hadronizują w mezony D . My przyjrzelśmy się innemu mechanizmowi powstawania mezonów, znanemu jako niefaworyzowana fragmentacja kwarków. Mezon tworzy się tu w wyniku oddziaływania jakiegoś kwarku lekkiego – czyli górnego, dolnego lub dziwnego – z odpowiadającym mu antykwarkiem. Za pomocą niuansów takiego mechanizmu wcześniej wyjaśniono asymetrię między kaonami i antykaonami, czyli mezonami K^+ i K^- . Dotychczas jednak nie sprawdzano, czy podobny mechanizm mógłby tłumaczyć asymetrię między stosunkowo masywnymi mezonami D^+ a D^- ”, mówi dr Rafał Maciuła (IFJ PAN), pierwszy autor publikacji w czasopiśmie „Physical Review D”.

Detektor LHCb mierzy głównie cząstki rozchodzące się z punktu zderzenia protonów pod dużymi kątami do pierwotnego kierunku ruchu tychże. Według krakowskich fizyków asymetria w produkcji mezonów D powinna być znacznie większa, jeśli uwzględnimy cząstki produkowane „do przodu”, a więc wzdłuż kierunku wiązek protonów. Oznacza to, że obecnie obserwowana dysproporcja może być zaledwie czubkiem góry lodowej. Obliczenia sugerują, że w przypadku zderzeń „do przodu” niefaworyzowana fragmentacja ($d, u, s \rightarrow D$) może być porównywalna do typowej fragmentacji ($c \rightarrow D$). W efekcie asymetria między mezonami D^+ a D^- może sięgać nawet wielu procent, także przy energiach zderzeń niższych niż obecnie zachodzące w akceleratorze LHC.

Badania fizyków z IFJ PAN mogą nieść daleko idące konsekwencje dla obserwatoriów neutrinowych, takich jak detektor IceCube na Antarktydzie. Detektor ten, prowadzony przez 49 instytucji naukowych z 12 krajów, za pomocą tysięcy fotopowielaczy monitoruje kilometr sześcienny lodu znajdujący się niemal półtora kilometra pod powierzchnią. Fotopowielacze tropią subtelne błyski świetlne, inicjowane przez interakcję cząstek tworzących lód z neutronami, cząstkami elementarnymi bardzo słabo oddziałującymi ze zwykłą materią.

IceCube rejestruje kilkaset neutronów dziennie. Wiadomo, że spora część z nich tworzy się w ziemskiej atmosferze w procesach zainicjowanych przez promieniowanie kosmiczne i zachodzących z udziałem protonów. Inne neutrino mogą pochodzić np. z jądra Ziemi lub ze Słońca. Przyjmuje się jednak, że neutrino o znacznych energiach dotarły do detektora bezpośrednio z odległych źródeł kosmicznych: supernowych lub zlewających się czarnych dziur bądź gwiazd neutronowych.

„Przy interpretowaniu danych z detektora IceCube uwzględnia się produkcję neutronów w ziemskiej atmosferze wywołaną zwykłym promieniowaniem kosmicznym, w tym zderzeniami z udziałem protonów. Rzecz w tym, że część tych procesów, skutkująca powstaniem neutronów o dużych energiach, odbywa się z udziałem mezonów D . Tymczasem my pokazujemy, że mechanizm produkcji tych mezonów w atmosferze może być znacznie bardziej wydajny niż się dotychczas wydawało. Jeśli więc nasze przypuszczenia się potwierdzą, część zarejestrowanych neutronów wysokoenergetycznych, teraz uznawanych za kosmiczne, w rzeczywistości powstała tuż nad naszymi głowami i zaburza rzeczywisty obraz wydarzeń w głębi kosmosu”, tłumaczy prof. dr hab. Antoni Szczurek (IFJ PAN).

Gdy widać zaledwie czubek góry lodowej, wnioskowanie na temat wyglądu jej reszty jest więcej niż ryzykowne. Model zaproponowany przez krakowskich fizyków ma dziś status hipotezy. Być może w pełni opisuje mechanizm zachodzący w rzeczywistości. Ale może być też tak, że za asymetrię w produkcji mezonów D odpowiadają inne procesy, może częściowo, a może nawet w całości.

„Na szczęście żadna konkurencyjna propozycja nie przewiduje tak wyraźnego wzrostu asymetrii w produkcji mezonów D przy mniejszych energiach zderzeń. Żeby sprawdzić nasze przypuszczenia, wystarczyłoby więc w akceleratorze LHC skierować pojedynczą wiązkę na nieruchomą tarczę, co znacząco zredukowałoby energię zderzeń. Nasz model spełnia zatem kryteria bardzo rzetelnej nauki: nie tylko wyjaśnia dotychczasowe obserwacje, ale przede wszystkim można go szybko zweryfikować. Na dodatek można to zrobić bardzo tanio!”, podsumowuje prof. Szczurek.

Badania nad asymetrią w produkcji mezonów powabnych sfinansowano ze środków statutowych IFJ PAN i grantu Narodowego Centrum Nauki.

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 czasopiśmie 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:

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

dr **Rafał Maciuła**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628240
email: rafal.maciula@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „D meson production asymmetry, unfavored fragmentation, and consequences for prompt atmospheric neutrino production”
R. Maciuła, A. Szczurek
Physical Review D 97, 074001 (2018)
DOI: 10.1103/PhysRevD.97.074001

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:

IFJ180523b_fot01s.jpg HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2018/05/23/IFJ180523b_fot01.jpg
Porównanie mechanizmów faworyzowanej i nefaworyzowanej fragmentacji kwarków. (Źródło: IFJ PAN)