

Obserwacja aktu kreacji cząstek w zderzeniach fotonów

19 lutego 2021

W kolizji fotonów dojść może do kreacji materii i antymaterii. Ślady takich procesów zaobserwowano w ramach eksperymentu ATLAS przy Wielkim Zderzaczu Hadronów w CERN – informuje Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie.

Gdy jedną świecącą latarkę skierujemy ku włączonej drugiej, próżno oczekiwać spektakularnych zjawisk. Fotony emitowane z obu latarek po prostu się miną. Sytuacja wygląda inaczej przy niektórych subtelnych zderzeniach z udziałem wysokoenergetycznych protonów. Może wtedy dojść do kolizji między fotonami, skutkujących kreacją materii i antymaterii. Ślady takich procesów właśnie zaobserwowano w ramach eksperymentu ATLAS przy Wielkim Zderzaczu Hadronów (Large Hadron Collider, LHC) w CERN pod Genewą.

Wyjątkowo precyzyjne i kompletne obserwacje przeprowadzono dzięki nowemu detektorowi AFP (ATLAS Forward Proton), powstałemu przy istotnym udziale naukowców z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie. Krakowscy fizycy, finansowani ze środków Narodowego Centrum Nauki i Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, uczestniczą w pracach nad detektorami AFP od momentu powstania koncepcji tych urządzeń. „W najczęściej rejestrowanych przypadkach kreacji jeden foton przekształca się w cząstkę i antycząstkę. Natomiast zjawisko badane przez nas ma odmienną naturę. Para cząstka-antycząstka powstaje tu wskutek oddziaływania między dwoma fotonami” – mówi prof. Janusz Chwastowski, kierownik zespołu fizyków IFJ PAN zaangażowanego w prace nad detektorami AFP, cytowany w prasowym komunikacie.

Jako cząstka naładowana, proton pędzący we wnętrzu akceleratora LHC jest otoczony polem elektrycznym. Ponieważ

nośnikami oddziaływań elektromagnetycznych są fotony, proton można traktować jako obiekt otoczony fotonami – czytamy w komunikacie IFJ PAN. „W tunelu LHC protony osiągają prędkość bardzo bliską prędkości światła. Zarówno one, jak i otaczające je pole, wskutek efektów opisanych szczególną teorią względności ulegają skróceniu wzdłuż kierunku ruchu. Zatem z naszego punktu widzenia z protonem lecącym z prędkością niemal świetlną związana jest szczególnie gwałtowna oscylacja pola elektromagnetycznego. Gdy jeden taki proton przeleci tuż obok podobnie rozpędzonego drugiego – a z taką sytuacją mamy do czynienia w LHC – może dojść do oddziaływań między fotonami” – tłumaczy dr Rafał Staszewski (IFJ PAN).

W LHC do kolizji przeciwbieżnych wiązek protonów dochodzi w kilku miejscach, m.in. wewnątrz olbrzymiego detektora ATLAS. Jeśli zderzą się dwa fotony, rezultatem może być para elektron i pozyton (czyli dodatnio naładowany elektron) albo mion i antymion (mion jest ok. 200 razy bardziej masywnym odpowiednikiem elektronu). Cząstki te, należące do rodziny leptonów, rozbiegają się pod dużymi kątami w stosunku do wiązek protonów i są rejestrowane wewnątrz głównego detektora ATLAS. Zjawiska takie były już obserwowane w LHC wcześniej. „Rzecz w tym, że mamy jeszcze dwóch bohaterów procesów dwufotonowych! Są to, naturalnie, źródła fotonów, czyli oba mijające się protony. Tak dochodzimy do istoty naszego pomiaru” – mówi dr Staszewski i wyjaśnia: „Wskutek emisji fotonu każdy proton traci nieco energii, ale, co ważne, praktycznie nie zmienia kierunku swojego ruchu. Wylatuje więc z detektora i wraz z innymi protonami wiązki i jest odchylany przez magnesy akceleratora, by podążać wewnątrz zakrzywionej rury próżniowej akceleratora. Jednak proton, który wyemitował foton, ma teraz nieco mniejszą energię niż protony wiązki. Pole magnetyczne odchyła go bardziej, a to oznacza, że stopniowo będzie się odsuwał od wiązki. Właśnie na takie protony polujemy naszymi detektorami AFP”.

Każda z czterech stacji detektora AFP zawiera cztery sensory –

płaskie płytki półprzewodnikowe o rozmiarach 16×20 mm, umieszczone jedna za drugą i podzielone na matryce pikseli. Proton, który przelatuje przez sensory, zostawia w nich nieco energii i tak aktywuje piksele na swojej drodze. Analiza wszystkich uaktywnionych pikseli pozwala odtworzyć tor ruchu protonu.

Konieczność rejestrowania protonów tylko nieznacznie odchylonych od głównej wiązki oznacza, że detektory AFP trzeba wsuwać bezpośrednio do wnętrza rury próżniowej LHC, na odległość zaledwie pojedynczych milimetrów od krążących wiązek. „Gdy operuje się tak blisko wiązki cząstek o tak wielkich energiach, trzeba mieć świadomość ryzyka. Najmniejszy błąd w pozycjonowaniu detektora mógłby skutkować wypaleniem w nim dziury. Byłoby nam bardzo przykro, ale to byłaby naprawdę najmniejsza strata. Powstałe opary zanieczyściłyby bowiem praktycznie cały akcelerator i trzeba byłoby go wyłączyć na przynajmniej pół roku” – zauważa prof. Chwastowski.

Opisywane pomiary zrealizowano za pomocą detektorów AFP umieszczonych w odległości około 200 m od punktu zderzenia protonów. „Protony oddziałują w LHC na wiele sposobów. Skutkiem tego protony obserwowane w detektorach AFP mogą pochodzić z innych procesów niż te związane z oddziaływaniem fotonów. Aby wyszukać właściwe protony, musieliśmy dysponować precyzyjną wiedzą o własnościach każdej cząstki” – podkreśla doktorant Krzysztof Cieśla (IFJ PAN), który zajmował się wstępną analizą surowych danych zebranych przez detektory AFP w 2017 roku oraz przetwarzaniem ich na informacje o energiach i pędach protonów. Wyniki pomiarów energii protonów zestawiano następnie z energiami leptonów zarejestrowanych w tym czasie w akceleratorze LHC i na podstawie zasad zachowania ustalano, czy obserwowany proton mógł być źródłem oddziałującego fotonu.

Pomiary z użyciem detektorów AFP okazały się bardzo znaczące statystycznie, na poziomie dziewięciu sigma (odchyłeń standardowych). Dla porównania przypomnijmy, że do ogłoszenia odkrycia naukowego zwykle wystarcza pięć sigma. Zatem

detektory AFP przeszły swój chrzest bojowy z powodzeniem – i dostarczyły bardzo interesujących, choć jeszcze niejasnych wyników. Okazało się bowiem, że przewidywania teoretyczne nie zgadzają się w pełni z wyznaczonymi charakterystykami badanych oddziaływań. Najwyraźniej w procesach dwufotonowych prowadzących do kreacji materii i antymaterii kryją się niuanse wymagające lepszego zrozumienia i dalszych pomiarów.

Źródło: NaukawPolsce.PAP.pl