



Kraków, 18 lutego 2021

LHC/ATLAS: Wyjątkowa obserwacja aktu kreacji cząstek w zderzeniach fotonów

Eksperyment ATLAS przy akceleratorze LHC wykorzystał nowatorską technikę obserwacji procesów zamiany dwóch fotonów w materię i antymaterię. Z danych, zebranych z udziałem nowych detektorów protonów AFP przy największych dostępnych obecnie energiach, wyłania się dokładniejszy – i ciekawszy – obraz zjawisk zachodzących podczas zderzeń fotonów.

Gdy jedną świecącą latarkę skierujemy ku włączonej drugiej, próżno oczekiwać spektakularnych zjawisk. Fotony emitowane z obu latariek 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.

„Obserwacje narodzin cząstek materii i antymaterii z promieniowania elektromagnetycznego sięgają początków fizyki jądrowej”, wprowadza w zagadnienie prof. dr hab. Janusz Chwastowski, kierownik zespołu fizyków IFJ PAN zaangażowanego w prace nad detektorami AFP.

Rzeczywiście, był luty 1933 roku, gdy (późniejszy noblista) Patrick Blackett i Giuseppe Occhialini donieśli o zarejestrowaniu pary elektron-pozyton zainicjowanej przez kwant promieniowania kosmicznego. Kreację materii i antymaterii zauważono więc wcześniej niż proces odwrotny, czyli słynną i spektakularną anihilację. Pierwszych obserwacji tej ostatniej dokonał bowiem sześć miesięcy później fizyk Theodor Heiting, a po kolejnych trzech miesiącach Frédéric Joliot (mąż Ireny Joliot-Curie, niekiedy podawanej jako współautorka odkrycia).

„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. Po raz pierwszy o możliwości występowania takich procesów donieśli Gregory Breit i John A. Wheeler – i to już w 1934 roku”, mówi prof. Chwastowski.

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.

„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 nie-

mal 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 w ich trakcie 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 16x20 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 energiemi 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 (odchyleń 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.

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 klasyfikacji MNIŚW Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

prof. dr hab. **Janusz Chwastowski**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628449
email: janusz.chwastowski@ifj.edu.pl

dr **Rafał Staszewski**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628361
email: rafal.staszewski@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Observation and Measurement of Forward Proton Scattering in Association with Lepton Pairs Produced via the Photon Fusion Mechanism at ATLAS”
ATLAS Collaboration
Physical Review Letters 125, 261801 (2020)
DOI: 10.1103/PhysRevLett.125.261801

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:

IFJ210218b_fot01s.jpg **HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2021/02/18/IFJ210218b_fot01.jpg
Zdjęcie detektora AFP wykonane pod instalacji w tunelu LHC. Po lewej widoczny kwarcowy detektor czasu przelotu, po prawej układ półprzewodnikowych detektorów mierzących położenie protonu. (Źródło: IFJ PAN)

IFJ210218b_fot02s.jpg **HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2021/02/18/IFJ210218b_fot02.jpg
W akceleratorze LHC do zderzeń fotonów przy mijaniu się protonów dochodzi wewnątrz detektora ATLAS. Pary powstałych leptonów są rejestrowane wewnątrz ATLAS-a, podczas gdy protony będące źródłami fotonów są obserwowane przez detektory AFP umieszczone w odległości około 200 m od punktu kolizji. (Źródło: IFJ PAN)