INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
IM. HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

UL. RADZIKOWSKIEGO 152
31-342 KRAKÓW

CENTRALA: +48 12 662 8000
DYREKTOR: +48 12 662 8200
FAKS: +48 12 662 8458

www.ifj.edu.pl
dyrektor@ifj.edu.pl

Kraków, 12 listopada 2026

Asymetria między materią a antymaterią nadal nie odsłania nowej fizyki

Kosmos wypełniony zwykłą materią to dobitny argument, że światy materii i antymaterii nie są swoimi perfekcyjnymi odbiciami. Znane różnice nie tłumaczą jednak skali obecnej dominacji materii i nie można wykluczyć, że za istniejącą dysproporcję odpowiadają nieznane zjawiska fizyczne. Obecna analiza rozpadów mezonów, przeprowadzona w ramach eksperymentu LHCb, zawęziła pole poszukiwań dla takiego wariantu wydarzeń i jednocześnie utorowała drogę do jeszcze dokładniejszych pomiarów w przyszłości.

Naukowcy pracujący przy akceleratorze LHC od ponad dekady koncentrują swoje wysiłki na poszukiwaniach różnic między cząstkami materii i antymaterii produkowanymi w zderzeniach protonów. Najnowszą, wyjątkowo dokładną analizę danych, zebranych w latach 2016–2018 roku w ramach eksperymentu LHCb, przeprowadził zespół naukowców z brytyjskich uniwersytetów w Warwick, Manchesterze i Oksfordzie, z niemieckiego uniwersytetu w Dortmundzie oraz z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie.

Powód obecnych badań ma swoje źródło w prawdopodobnie najbardziej zdumiewającej cesze świata: w tym, że... po prostu jest. Dlaczego zdumiewającej? Ponieważ w obecnej postaci nie powinno go być – przynajmniej w świetle współczesnej wiedzy fizycznej. Z obecnych modeli kosmologicznych wynika bowiem, że na bardzo wczesnym etapie po Wielkim Wybuchu we Wszechświecie musiały się wytworzyć te same ilości materii i antymaterii. Jednak gdy cząstka spotyka antycząstkę, obie przekształcają się w energię (anihilują). Tymczasem nasza rzeczywistość w ewidentny sposób jest zdominowana przez cząstki materii, które uniknęły anihilacji. Światy cząstek materialnych i antymaterialnych nie mogły więc być – i nadal nie są – idealnie symetryczne.

„W wielu procesach fizycznych jednoczesne zastąpienie wszystkich cząstek ich antycząstkami i odwrócenie wszystkich współrzędnych przestrzennych nie zmienia praw opisujących te zjawiska. Zasada ta jest znana jako symetria ładunkowo-przestrzenna, czyli symetria CP. Procesów łamiących tę symetrię poszukiwaliśmy w rozpadach cząstek produkowanych podczas zderzeń protonów w akceleratorze LHC, a konkretnie w rozpadach mezonów zawierających kwarki i antykwarki piękne i dziwne”, wprowadza w zagadnienie dr inż. Agnieszka Dziurda (IFJ PAN), ekspert w zakresie fizyki omawianych rozpadów.

Zjawiska zachodzące w świecie cząstek elementarnych są obecnie opisywane przez Model Standardowy, zbiór narzędzi teoretycznych skonstruowany w latach 70. ubiegłego wieku. Materię tworzą w nim cząstki elementarne z grupy nazywanej fermionami, obejmującej kwarki (dolne, górne, dziwne, powabne, piękne i prawdziwe) oraz leptony (elektrony, miony, taony i powiązane z nimi neutrina). Ponadto każdy rodzaj cząstek materii ma swojego antymaterialnego odpowiednika.

Podczas zderzeń protonów w akceleratorze LHC powstaje wiele masywnych, nietrwałych cząstek subatomowych. W prowadzonych już od kilkudziesięciu lat analizach łamania symetrii CP fizykom udało się zaobserwować asymetrie między niektórymi rozpadami zachodzącymi z udziałem cząstek i antycząstek, jednak wkład tych zjawisk wciąż jest niewystarczający, by wyjaśnić obecną dominację materii. Obecnie, w artykule opublikowanym na łamach znanego czasopisma fizycznego „Physical Review Letters”, badacze przedstawili analizę rozpadów mezonów B_s^0. Mezony te rozpa-

dają się na lżejsze składniki, przy czym dzięki Modelowi Standardowemu można obliczyć, jak często dany proces rozpadu powinien zachodzić, a następnie porównać te przewidywania z wynikami pomiarów eksperymentalnych.

„Co ciekawe, do analizy wybraliśmy proces, w którym Model Standardowy nie przewiduje żadnej asymetrii. Po co więc w ogóle go badać?”, pyta dr Dziurda i wyjaśnia: *„Ponieważ gdyby asymetria jednak się pojawiła, mógłby to być sygnał świadczący o działaniu dotychczas nieznanej, nowej fizyki. A my wiemy, że obecne przewidywania teoretyczne dotyczące prawdopodobieństw zachodzenia pewnych dróg rozpadu mezonów pięknych w istotny sposób różnią się od wartości otrzymywanych eksperymentalnie. Źródło tej rozbieżności może leżeć na przykład w nieuwzględnieniu wszystkich efektów teoretycznych w obecnych przewidywaniach, ale na tym etapie nie można wykluczyć możliwości, że tkwi w dotychczas nieznanej fizyce”*.

Mezony B_s^0 wyjątkowo dobrze nadawały się do poszukiwań łamania symetrii CP z jeszcze jednego powodu. Otóż mają one niezwykłą cechę: ekstremalnie szybko oscylują między stanami odpowiadającymi materii (para kwark dziwny i antykwark piękny) a stanami antymaterialnymi (para kwark piękny i antykwark dziwny); w jednym z wcześniejszych pomiarów zrealizowanych w eksperymencie LHCb wykazano, że robią to nawet kilka trylionów razy na sekundę. Dzięki tak szybkim oscylacjom analizę można było przeprowadzić bez konieczności ustalania stanu początkowego każdego mezonu.

Szczególnym wyzwaniem dla badaczy okazało się dogłębne zrozumienie asymetrii detektorowych, czyli różnic w rejestracji cząstek i antycząstek wynikających z działania samego detektora LHCb. Jest to konsekwencja faktu, że cząstki naładowane dodatnio i ujemnie zakrzywiają swoje tory w przeciwnych kierunkach w polu magnetycznym detektora, co przy różnicach w sprawności poszczególnych części detektora może prowadzić do różnic w skuteczności ich rejestracji. Efekty te mogą wywoływać asymetrię w danych nawet wtedy, gdy badany proces zachodzi z jednakowym prawdopodobieństwem dla cząstek i ich antycząstek. Aby uwzględnić powyższe czynniki, naukowcy wykorzystali obszerne próbki kalibracyjne, symulacje komputerowe oraz regularnie zmieniali kierunek pola magnetycznego detektora. Przy wyznaczaniu ostatecznej wartości asymetrii badanego procesu uwzględniono poprawki wynikające z różnic w skuteczności rejestracji cząstek i antycząstek.

„Musieliśmy się upewnić, że jakakolwiek asymetria zauważona w danych, choćby najmniejsza, nie będzie efektem działania samego detektora. Był to kluczowy aspekt całej analizy, ponieważ przy naszej dokładności pomiaru wkład zaburzeń ze strony detektora mógł być tej samej wielkości co asymetria, której poszukiwaliśmy”, mówi dr Dziurda.

W obecnie przeanalizowanych danych z eksperymentu LHCb zaobserwowano różnicę między materią a antymaterią na poziomie mniej więcej jednego-dwóch przypadków na tysiąc. Ponieważ margines niepewności pomiaru był większy, rezultat jest zgodny z przewidywaniami Modelu Standardowego. Otrzymany wynik nie rozwiązuje zagadki brakującej antymaterii ani nie wyklucza istnienia nowej fizyki, jednak zawęża przestrzeń poszukiwań, w której mogłyby się kryć nowe zjawiska. W analizowanym rozpadzie każdy nieznany proces, który powodowałby asymetrię większą niż około 2%, zostałby bowiem z dużym prawdopodobieństwem wykryty.

Przyszłe badania, wykorzystujące większe, już zebrane zbiory danych eksperymentalnych z udoskonalonego detektora LHCb, pozwolą zbadać jeszcze subtelniejsze efekty w omawianych rozpadach mezonów. Jeśli kryje się w nich nowe źródło łamania symetrii CP, dzięki obecnie zaprezentowanej analizie fizycy wiedzą już lepiej, gdzie – i jak dokładnie – należy prowadzić poszukiwania.

Po stronie polskiej badania sfinansowano dzięki grantowi przyznanemu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

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:

dr inż. **Agnieszka Dziurda**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628437
email: agnieszka.dziurda@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„First Measurement of the Decay-Time-Integrated CP Asymmetry in $B_s^0 \to D_s^- \pi^+$ Decays"
LHCb Collaboration
Physical Review Letters 2026, 137, 081802
DOI: 10.1103/ljtv-y278

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:

IFJ261112b_fot01s.jpg **HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2026/11/12/IFJ261112b_fot01.jpg
Podczas zderzeń protonów w akceleratorze LHC powstają m.in. mezony zawierające kwarki i antykwarki piękne i dziwne. W ich rozpadach na cząstki wtórne poszukiwano różnic między materią a antymaterią. (Źródło: IFJ PAN)