



Kraków, 24 marca 2022

Wrodzony powab protonu może przysporzyć kłopotów astronomom

Czy neutrinowe oczy ludzkości, obserwatoria takie jak IceCube na Antarktydzie, naprawdę widzą neutrina napływające z głębi kosmosu? Odpowiedź zaczynają przynosić między innymi eksperymenty przy akceleratorze LHC, gdzie bada się wewnętrzną strukturę protonów. Zgodnie z najnowszym modelem, opracowanym przez fizyków z IFJ PAN, struktura ta wydaje się być bogatsza o cząstki powabne w stopniu, który ziemskim obserwatorom neutrin może utrudnić interpretację tego, co widzą.

Wbrew popularnym wyobrażeniom, proton może się składać nie z trzech, ale nawet z pięciu kwarków. Dodatkową parę tworzą wtedy kwark i antykwark powstałe w interakcjach gluonów we wnętrzu protonu. Od dawna przypuszczano, że te „nadmiarowe” pary mogą niekiedy być zbudowane nawet z tak masywnych kwarków i antykwarków jak powabne. Teraz się okazuje, że uwzględnienie wewnętrznego powabu protonów pozwala dokładniej opisać przebieg zjawisk zarejestrowanych niedawno w jednym z niskoenergetycznych eksperymentów w detektorze LHCb przy Wielkim Zderzaczu Hadronów. Stosowny model teoretyczny zaprezentowali fizycy z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie na łamach czasopisma „*Physical Review D*”.

Szkolne podręczniki malują obraz protonu jako cząstki będącej prostym zlepkiem trzech kwarków: dwóch górnych oraz jednego dolnego, sklejonych oddziaływaniami silnymi przenoszonymi przez gluony. W fizyce tak uproszczony model nie zrobił długiej kariery. Już w końcu lat 80. ubiegłego wieku okazało się, że aby wytłumaczyć obserwowane zjawiska trzeba uwzględnić lekkie kwarki pochodzące z chmury mezonowej w nukleonie (są to tzw. wyższe stany Flocka). Co zaskakujące, efekt wcale nie jest marginalny: może stanowić nawet poprawkę na poziomie 30% w stosunku do prostego modelu trzykwarkowego. Niestety, dotychczas nie potrafiono określić, jak duży jest analogiczny wkład kwarków powabnych.

„Nasze wcześniejsze modele powstawania powabu wielokrotnie wykazywały się zgodnością z eksperymentami. Przy dużych energiach zderzeń protonów, gdy w LHC wzajemnym oddziaływaniom poddawano ich dwie przeciwbieżne wiązki, potrafiliśmy całkiem dobrze opisać produkcję par z udziałem kwarków i antykwarków powabnych. Rzecz jednak w tym, że choć tworzyły się one w trakcie zderzeń protonów, nie pochodziły z ich wnętrza. Powstawały wskutek fuzji gluonów nieco wcześniej wyemitowanych przez protony”, mówi prof. dr hab. Antoni Szczurek (IFJ PAN).

Nadzieję na postęp w tropieniu powabu wewnątrz samych protonów przyniosły niedawne pomiary zrealizowane w detektorze LHCb z użyciem pojedynczej wiązki protonów, wycelowanej w nieruchomą, gazową tarczę z helu bądź argonu.

„Gdy w LHC dochodzi do zderzeń przy największych energiach, spora część cząstek będących produktami kolizji protonów porusza się w kierunku 'do przodu', wzdłuż wiązek protonów. W rezultacie trafiają w obszar, gdzie z przyczyn technicznych nie ma detektorów. Tymczasem zderzenia protonów z jądrami helu, które właśnie poddaliśmy analizie, zachodziły przy energiach nawet kilka-

dziesiąt razy mniejszych od maksymalnych osiągniętych przez LHC. Produkty zderzeń rozbiegały się pod większymi kątami, bardziej na boki, w konsekwencji były rejestrowane w detektorach i mogliśmy się im przyjrzeć”, wyjaśnia dr Rafał Maciuła (IFJ PAN).

Do opisu danych z eksperymentu w detektorze LHCb krakowscy fizycy użyli modelu rozbudowanego o możliwość wybicia z wnętrza protonu kwarku lub antykwarku powabnego. Wyliczenie prawdopodobieństwa takiego procesu z zasad pierwszych nie było możliwe. Badacze postanowili więc sprawdzić, przy jakich wartościach prawdopodobieństwa zgodność przewidywań modelu z zarejestrowanymi danymi będzie największa. Otrzymany wynik sugerował, że wkład par powabnych we wnętrzu protonu nie jest większy niż około 1%.

Po wybicciu z wnętrza protonu powabna para kwark-antykwark szybko się zmienia w krótkożyjące mezony i antymezone D^0 , te zaś produkują kolejne cząstki, w tym neutrino. Fakt ten zainspirował fizyków z IFJ PAN do skonfrontowania nowego modelu z danymi zarejestrowanymi przez obserwatorium neutrinowe IceCube na Antarktydzie.

Obecnie dzięki stosowanym technikom naukowcy z IceCube mają pewność, że jeśli rejestrują neutrino o ogromnej energii (rzędu setek teraelektronowoltów), to oznacza, że cząstka pochodziła z głębi kosmosu. Przyjmuje się ponadto, że neutrino o nieco niższych, ale wciąż rzadko spotykanych dużych energiach, również mają naturę kosmogeniczną. Jeśli jednak z wnętrza protonu można wybić powabną parę kwark-antykwark, rozpadającą się w kaskadzie zawierającej wysokoenergetyczne neutrino, ta interpretacja może zostać podważona. Neutrino w pewnym zakresie energetycznym, rejestrowane obecnie, mogą bowiem pochodzić nie z kosmosu, ale właśnie z kaskad inicjowanych zderzeniami cząstek pierwotnego promieniowania kosmicznego z jądrami gazów atmosferycznych. Artykuł analizujący taką możliwość trafił do druku w czasopiśmie „*European Physical Journal C*”.

„Przy analizie danych z obserwatorium IceCube przyjęliśmy następującą taktykę. Przyjmijmy, że praktycznie wszystkie obecnie rejestrowane neutrino w badanym przez nas zakresie energetycznym pochodzą z atmosfery. Jaki musiałby być wkład powabnych par kwark-antykwark we wnętrzu protonu, abyśmy za pomocą naszego modelu uzyskali zgodność z dotychczasowymi pomiarami? Proszę sobie wyobrazić, że otrzymaliśmy wartość rzędu jednego procenta, praktycznie identyczną z wartością z modelu opisującego zderzenia proton-hel w detektorze LHCb!”, mówi dr Maciuła.

Zbieżność oszacowań dla obu omówionych przypadków nakazuje zachować dużą ostrożność w określaniu źródeł neutrin rejestrowanych przez współczesne obserwatoria. Krakowscy badacze podkreślają jednak, że ich wyniki nakładają tylko górne ograniczenie na wkład kwarków i antykwarków powabnych w strukturę protonu. Jeśli okaże się on mniejszy, przynajmniej część obecnie wykrywanych neutrin o wielkich energiach zachowa swoją kosmiczną naturę. Jeśli jednak górna granica będzie oszacowaniem poprawnym, nasza interpretacja źródeł ich pochodzenia będzie musiała ulec istotnej zmianie, a IceCube okaże się nie tylko obserwatorium astronomicznym, ale również... atmosferycznym.

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

KONTAKT:

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

„Impact of intrinsic charm amount in the nucleon and saturation effects on the prompt atmospheric ν_{μ} flux for IceCube”

V. P. Goncalves, R. Maciuła, A. Szczurek
European Physical Journal C 82, 236 (2022)
DOI: <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10214-2>

„Impact of the LHCb $p+4\text{He}$ fixed-target $D0/D0^-$ data on the intrinsic cc^- component in the nucleon”

R. Maciuła, A. Szczurek
Physical Review D 105, 014001 (2022)
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.014001>

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:

IFJ220324b_fot01s.jpg HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2022/03/24/IFJ220324b_fot01.jpg
Kwarki i antykwarki powabne w protonach jąder atomowych gazów ziemskiej atmosfery może być źródłami większej liczby neutronów rejestrowanych przez detektor IceCube niż dotychczas sądzono. (Źródło: IceCube/NSF)

IFJ220324b_fot02s.jpg HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2022/03/24/IFJ220324b_fot02.jpg
Neutrino rejestrowane przez współczesne detektory mogą pochodzić z kosmosu bądź z interakcji promieniowania kosmicznego z gazami ziemskiej atmosfery. (Źródło: IFJ PAN)