



Kraków, 9 czerwca 2022

## Trudny do zaobserwowania efekt potwierdza istnienie masy kwarków

*W ekstremalnie energetycznych zderzeniach jąder ołowiu po raz pierwszy udało się zauważyć zjawisko bezpośrednio świadczące o istnieniu masy kwarków. Spektakularnym osiągnięciem – obserwacją efektu martwego stożka – może się pochwalić zespół fizyków pracujący na detektorze ALICE przy Wielkim Zderzaczu Hadronów.*

Obiekty tworzące naszą fizyczną codzienność mogą mieć wiele różnych właściwości. Podstawową rolę wśród nich odgrywa masa. Choć tak fundamentalna, masa ma zaskakująco złożone pochodzenie. Jej głównym źródłem są skomplikowane oddziaływania wiążące trójki kwarków we wnątrzach protonów i neutronów. We współczesnej fizyce przyjmuje się, że masy samych kwarków, pochodzące z ich interakcji z polem Higgosa (to jego manifestacją są słynne bozony Higgosa), wnoszą do masy protonu czy neutronu wkład zaledwie kilkuprocentowy. Powyższe stwierdzenie było jednak wyłącznie hipotezą. Co prawda masy pojedynczych kwarków wyznaczono z pomiarów już dawno, lecz tylko metodami pośrednimi. Teraz, dzięki wysiłkowi naukowców i inżynierów pracujących w Genewie przy akceleratorze LHC Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN), wreszcie udało się zaobserwować zjawisko bezpośrednio świadczące o istnieniu masy jednego z kwarków ciężkich.

*„Gdy w akceleratorze LHC zderzają się jądra ołowiu, gęstość energii może stać się tak wielka, że protony i neutrony rozpadną się i na chwilę utworzą plazmę kwarkowo-gluonową. Kwarki w jej wnętrzu poruszają się wtedy w potężnym polu oddziaływań silnych i zaczynają tracić energię emitując gluony. Robią to jednak w dość specyficzny sposób, który nasz zespół zdołał zaobserwować jako pierwszy”,* zaczyna wyjaśniać prof. dr hab. Marek Kowalski z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie. Prof. Kowalski jest jednym z członków dużej międzynarodowej kolaboracji przeprowadzającej pomiary z użyciem detektora ALICE.

Gluony to cząstki przenoszące oddziaływania silne między kwarkami. Ich rola przypomina więc rolę fotonów, odpowiedzialnych za oddziaływania elektromagnetyczne na przykład między elektronami. W elektrodynamice znane jest zjawisko dotyczące elektronów hamujących w polu elektromagnetycznym: tracą one energię emitując fotony, przy czym im większa jest energia elektronu, tym częściej fotony będą leciały w kierunku coraz bardziej zgodnym z jego kierunkiem ruchu. Efekt ten jest dziś podstawą działania laserów na swobodnych elektronach – unikatowych, potężnych urządzeń zdolnych do wytwarzania ultrakrótkich impulsów promieniowania rentgenowskiego.

*„Elektrony hamujące w polu magnetycznym lubią emitować fotony 'do przodu', w stożku kątowym tym węższym, im większa była ich pierwotna energia. Kwarki mają dokładnie przeciwne upodobania. Gdy tracą energię w polu oddziaływań silnych, emitują gluony, ale im mniejsza energia i większa masa kwarka, tym mniej gluonów leci 'do przodu'”,* mówi prof. Kowalski i precyzuje: *„Z teorii wynika, że wokół kierunku ruchu kwarka powinien istnieć pewien stożek kątowy, w którym gluony się nie pojawiają. Stożek ten – tym bardziej rozarty, im mniejsza była energia kwarka i im większa była jego masa – jest nazywany martwym stożkiem”.*

Teoretycy przewidzieli występowanie zjawiska martwego stożka już ponad 30 lat temu. Niestety, jego istnienie w eksperymentach zauważano do tej pory tylko pośrednio. Ekstremalną trudność przy bezpośredniej obserwacji sprawiają i natura zjawiska, i proces rejestracji. Hamujący kwark emituje bowiem gluony, które same mogą pod różnymi kątami emitować kolejne gluony bądź przekształcają się w cząstki wtórne. Cząstki te mają coraz mniejsze energie, zatem emitowane przez nie gluony będą unikały coraz większych martwych stożków. Na domiar złego poszczególne detektory rejestrują tak skomplikowaną kaskadę jedynie w stanie końcowym, na dodatek w różnych odległościach od punktu zderzenia, a więc i w różnych chwilach. Aby zauważyć efekt martwego stożka, z fragmentarycznych danych należało zrekonstruować miliony kaskad wyprodukowanych przez kwarki powabne. Analiza, przeprowadzona z użyciem wyrafinowanych narzędzi statystycznych, obejmowała dane zgromadzone w trakcie trzech lat pracy akceleratora LHC.

Doświadczalne potwierdzenie istnienia zjawiska martwego stożka jest osiągnięciem o niebagatelnym znaczeniu fizycznym. Światami kwarków i gluonów rządzą bowiem oddziaływania silne opisywane za pomocą teorii nazywanej chromodynamiką kwantową, ta zaś przewiduje, że efekt martwego stożka może występować wyłącznie wtedy, gdy kwark emitujący gluony ma niezerową masę. Obecny wynik, opublikowany na łamach prestiżowego czasopisma „Nature”, jest więc pierwszym bezpośrednim doświadczalnym potwierdzeniem istnienia mas kwarków.

*„W gigantycznej ilości danych, zebranych w detektorze ALICE podczas zderzania jąder ołowiu i protonów, wyśledziliśmy zjawisko, o którym wiemy, że może występować w przyrodzie wyłącznie wtedy, gdy kwarki mają niezerową masę. Obecne pomiary nie pozwalają nam oszacować wielkości masy obserwowanych przez nas kwarków powabnych, nie mówią też nic o masach kwarków innych rodzajów. Mamy więc spektakularny sukces, lecz tak naprawdę jest on dopiero wstępem do długiego ciągu badań”,* podkreśla prof. Kowalski.

Pierwsza bezpośrednia obserwacja efektu martwego stożka dotyczyła wyłącznie gluonów emitowanych przez kwarki powabne (c). Naukowcy zamierzają teraz poszukiwać martwych stożków w procesach z udziałem kwarków o większych masach, zwłaszcza pięknych (b). Będzie to ogromne wyzwanie, ponieważ im większa masa kwarka, tym rzadziej powstaje on w trakcie zderzeń, a zatem tym trudniej będzie zebrać liczbę przypadków gwarantującą odpowiednią wiarygodność analiz statystycznych.

Raportowane badania wiążą się ściśle z fundamentami całej współczesnej fizyki. Podstawowym narzędziem służącym obecnie do opisu zjawisk z udziałem cząstek elementarnych jest bowiem Model Standardowy. Masy kwarków są tu kluczowymi stałymi, odpowiadającymi za zgodność opisu teoretycznego z fizyczną rzeczywistością. Trudno się więc dziwić, że obserwacje martwych stożków, budzące nadzieję na bezpośrednie pomiary mas kwarków, cieszą się takim zainteresowaniem ze strony fizyków.

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

#### **KONTAKT:**

prof. dr hab. **Marek Kowalski**  
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk  
tel.: +48 12 6628074  
email: [marek.kowalski@cern.ch](mailto:marek.kowalski@cern.ch), [marek.kowalski@ifj.edu.pl](mailto:marek.kowalski@ifj.edu.pl)

### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

„Direct observation of the dead-cone effect in quantum chromodynamics”  
ALICE Collaboration  
Nature 605, 440–446 (2022)  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04572-w>

### **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:**

**IFJ220609b\_fot01s.jpg**

**HR:** [http://press.ifj.edu.pl/news/2022/06/09/IFJ220609b\\_fot01.jpg](http://press.ifj.edu.pl/news/2022/06/09/IFJ220609b_fot01.jpg)

Kaskada cząstek i gluonów zainicjowana hamującym kwarkiem powabnym. Im kaskada bardziej rozwinięta, tym mniejsze energie cząstek wtórnych i tym większa rozwartość kątowna martwych stożków unikanych przez kolejne gluony. (Źródło: CERN)