



Kraków, 18 maja 2023

Jeśli higgs gości w „ukrytej dolinie”, nową fizykę zobaczymy już w akceleratorach następnej generacji

Słynny bozon Higgsa, współodpowiedzialny za istnienie mas cząstek elementarnych, być może oddziałuje także ze światem poszukiwanej od dekad „nowej fizyki”. Gdyby tak faktycznie było, higgs powinien się rozpadać w charakterystyczny sposób, z udziałem egzotycznych cząstek. W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie wykazano, że jeśli do takich rozpadów rzeczywiście dochodzi, będzie można je obserwować we właśnie projektowanych następcach akceleratora LHC.

Gdy mowa o „ukrytej dolinie”, w pierwszej chwili łatwiej o skojarzenia ze smokami niż z rzetelną nauką. Tymczasem w fizyce wysokich energii tę malowniczą nazwę nosi pewien zbiór modeli rozszerzających zestaw obecnie znanych cząstek elementarnych. W modelach Ukrytej Doliny cząstki naszego świata, opisane przez Model Standardowy, należą do grupy o małych energiach, podczas gdy cząstki egzotyczne są „schowane” w obszarze dużych energii. Z rozważań teoretycznych wynika, że słynny bozon Higgsa mógłby wówczas rozpadać się z udziałem cząstek egzotycznych, czego mimo wielu lat poszukiwań nie udało się zaobserwować w akceleratorze LHC. Naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie argumentują jednak, że rozpady higgsa na egzotyczne cząstki Ukrytej Doliny powinny być świetnie widoczne już w akceleratorach będących następcami Wielkiego Zderzacza Hadronów – naturalnie jeśli modele okażą się zgodne z rzeczywistością.

„W modelach Ukrytej Doliny mamy dwie grupy cząstek rozdzielone barierą energetyczną. Teoria mówi, że mogłyby wówczas istnieć egzotyczne cząstki, które w odpowiednich okolicznościach byłyby zdolne tę barierę przekraczać. Cząstki takie jak bozon Higgsa czy hipotetyczny bozon Z' pełniłyby rolę komunikatorów między cząstkami obu światów. Bozon Higgsa, jedna z najbardziej masywnych cząstek Modelu Standardowego, jest dobrym kandydatem na takiego komunikatora”, wyjaśnia prof. dr hab. inż. Marcin Kucharczyk (IFJ PAN), główny autor artykułu w czasopiśmie „*Journal of High Energy Physics*”, gdzie zaprezentowano najnowsze analizy i symulacje dotyczące możliwości detekcji rozpadów higgsa w planowanych zderzaczach elektronów i pozytonów.

Komunikator po przejściu w region niskich energii rozpadałby się na dwie dość masywne cząstki egzotyczne. Każda z nich w czasie pikosekund – czyli bilionowych części sekundy – rozpadałaby się na kolejne dwie cząstki, o jeszcze mniejszych masach, mieszczących się już w obrębie Modelu Standardowego. Jakich więc oznak należałoby się spodziewać w detektorach przyszłych akceleratorów? Sam higgs pozostałby niezauważony, podobnie jak obie cząstki z Ukrytej Doliny. Jednak cząstki egzotyczne stopniowo by się rozbiegały i w końcu same ulegałyby rozpadowi, na ogół na pary kwark-antykwar piękny, widoczne we współczesnych detektorach w postaci strumieni cząstek oddalonych od osi wiązek.

„Obserwacje rozpadów bozonów Higgsa polegałyby zatem na poszukiwaniach strumieni cząstek pochodzących z par kwark-antykwar. Następnie należałoby wstecznie odtworzyć ich tory ruchu w celu znalezienia miejsc, gdzie prawdopodobnie doszło do rozpadu cząstek egzotycznych. Miejsca te, fachowo nazywane wierzchołkami rozpadu, powinny pojawiać się w parach i być w charakterystyczny sposób przesunięte względem osi wiązek zderzających się w akceleratorze. Wielkość

tych przesunięć zależy bowiem między innymi od mas i średnich czasów życia cząstek egzotycznych pojawiających się w trakcie rozpadu higgsa”, mówi mgr inż. Mateusz Goncerz (IFJ PAN), współautor omawianego artykułu.

Energia zderzeń protonów w LHC, obecnie największym akceleratorze świata, sięga kilkunastu teraelektronowoltów i teoretycznie wystarcza, żeby wyprodukować higgisy zdolne przekroczyć barierę energetyczną oddzielającą nasz świat od Ukrytej Doliny. Niestety, protony nie są cząstkami elementarnymi – składają się z trzech kwarków walencyjnych powiązanych oddziaływaniami silnymi, zdolnymi generować ogromne ilości ciągle się pojawiających i znikających cząstek wirtualnych, w tym par kwark-antykwar. Tak dynamiczna i złożona budowa wewnętrzna powoduje, że w zderzeniach protonów powstają ogromne liczby cząstek wtórnych, w tym wiele kwarków i antykwarków o dużych masach. Tworzą one tło, w którym znalezienie cząstek pochodzących z poszukiwanych rozpadów bozonu Higgsa na egzotyczne cząstki Ukrytej Doliny staje się praktycznie niemożliwe.

Detekcję ewentualnych rozpadów higgsa do tychże stanów powinny radykalnie poprawić akceleratorzy projektowane jako następcy LHC: liniowy zderzacz CLIC (Compact Linear Collider) oraz kołowy FCC (Future Circular Collider). W obu urządzeniach będzie można zderzać elektrony z ich antymaterialnymi partnerami, czyli pozytonami (przy czym CLIC będzie dedykowany tego typu zderzeniom, podczas gdy FCC będzie umożliwiał także zderzenia protonów i ciężkich jonów). Elektrony i pozytony są pozbawione budowy wewnętrznej, zatem tło dla egzotycznych rozpadów bozonów Higgsa powinno być słabsze niż w LHC. Tylko czy dostatecznie, by cenny sygnał mógł zostać zauważony?

W swoich badaniach fizycy z IFJ PAN uwzględnili najważniejsze parametry akceleratorów CLIC oraz FCC i wyznaczyli prawdopodobieństwo, z jakim w zderzeniach elektron-pozyton pojawiałyby się egzotyczne rozpady higgsa ze stanami końcowymi w postaci czterech kwarków i antykwarków pięknych. Aby przewidywania obejmowały szerszą grupę modeli, masy i średnie czasy życia cząstek egzotycznych rozważano w odpowiednio szerokich zakresach wartości. Wnioski są zaskakująco pozytywne: wszystko wskazuje na to, że w przyszłych zderzaczach elektronów z pozytonami tło rozpadów higgsa może zostać zredukowane wręcz radykalnie, aż o kilka rzędów wielkości, a w niektórych przypadkach będzie można je nawet zaniedbać.

Istnienie cząstek-komunikatorów jest możliwe nie tylko w modelach Ukrytej Doliny, lecz także w innych rozszerzeniach Modelu Standardowego. Jeśli więc detektory przyszłych akceleratorów zarejestrują sygnaturę odpowiadającą rozpadom higgsa analizowanym przez krakowskich badaczy, będzie to tylko pierwszy krok na drodze do poznania nowej fizyki. Kolejny będzie polegał na zgromadzeniu odpowiednio dużej liczby przypadków i wyznaczeniu głównych parametrów rozpadu, które będzie można porównać z przewidywaniami poszczególnych modeli cząstek nowej fizyki.

„Główny wniosek płynący z naszej pracy ma zatem wymiar czysto praktyczny. Nie mamy pewności, czy cząstki nowej fizyki zaangażowane w rozpady bozonu Higgsa będą należały do użytego przez nas modelu Ukrytej Doliny. Potraktowaliśmy jednak ten model jako reprezentatywny dla wielu innych propozycji modeli nowej fizyki i wykazaliśmy, że jeśli zgodnie z jego przewidywaniami bozony Higgsa rozpadają się na cząstki egzotyczne, to zjawisko to powinno być doskonale widoczne już w tych zderzaczach elektronów i pozytonów, których uruchomienie jest planowane w bliskiej przyszłości”, podsumowuje prof. Kucharczyk.

Omawiane badania sfinansowano z grantu OPUS przyznanego przez Narodowe Centrum Nauki.

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:

prof. dr hab. inż. **Marcin Kucharczyk**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628050
email: marcin.kucharczyk@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Search for exotic decays of the Higgs boson into long-lived particles with jet pairs in the final state at CLIC”
M. Kucharczyk, M. Goncerz
Journal of High Energy Physics, 131, 2023
DOI: [https://doi.org/10.1007/JHEP03\(2023\)131](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2023)131)

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:

IFJ230518b_fot01s.jpg **HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2023/05/18/IFJ230518b_fot01.jpg
Przebieg poszukiwań rozpadu bozonu Higgsa w przyszłych zderzaczach leptonów: 1) elektron i pozyton z przeciwbieżnych wiązek zderzają się ze sobą; 2) w wyniku zderzenia powstaje higgs o dużej energii; 3) higgs rozpada się na dwie cząstki egzotyczne, oddalające się od osi wiązek; 4) cząstki egzotyczne rozpadają się na pary kwark-antykwarł piękny, widoczne dla detektorów. (Źródło: IFJ PAN)