



Kraków, 15 lipca 2020

Egzotyczne neutrino będzie trudno wywęszyć

Międzynarodowy zespół tropiący neutrino „nowej fizyki” skonfrontował dane ze wszystkich istotnych eksperymentów powiązanych z rejestracją neutrino z rozszerzeniami Modelu Standardowego proponowanymi przez teoretyków. Najnowsza analiza, pierwsza o tak kompleksowym zasięgu, ukazuje skalę wyzwań stojących przed poszukiwaczami prawoskrętnych neutrino, ale też niesie i isierkę nadziei.

We wszystkich zaobserwowanych procesach z udziałem neutrino cząstki te wykazują się cechą przez fizyków nazywaną lewoskrętnością. Neutrino prawoskrętnych, będących naturalnym dopełnieniem Modelu Standardowego, nie widać nigdzie. Dlaczego? Na to pytanie pomaga odpowiedzieć najnowsza, wyjątkowo kompleksowa analiza, przeprowadzona przez międzynarodową grupę fizyków, w tym z Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie. Po raz pierwszy przy użyciu najnowocześniejszych metod statystycznych uwzględniono tu dane ze wszystkich istotnych eksperymentów pośrednio i bezpośrednio dedykowanych rejestrowaniu neutrino i skonfrontowano je z zakresami parametrów narzucanych przez różne rozszerzenia teoretyczne Modelu Standardowego.

Pierwszą cząstkę subatomową, elektron, zaobserwowano ponad 120 lat temu. Od tego czasu fizycy odkryli ich całe zoo. Bogactwo cegiełek natury wyjaśniono przy założeniu, że świat materii składa się z masywnych kwarków, występujących w sześciu odmianach, oraz znacznie mniej masywnych leptonów, także sześciu rodzajów. Do leptonów zakwalifikowano elektron, mion (o masie 207 razy większej od masy elektronu), taon (3477 mas elektronu) i odpowiadające im trzy rodzaje neutrino.

Neutrino niezwykle słabo oddziałują z resztą materii. Wykazują też inne cechy o szczególnym znaczeniu dla kształtu współczesnej fizyki. Niedawno odkryto, że cząstki te oscylują, czyli nieustannie przekształcają się z jednego rodzaju w inny. Zjawisko to oznacza, że obserwowane neutrino muszą mieć pewną (choć bardzo małą) masę. Tymczasem Model Standardowy, czyli współczesne narzędzie teoretyczne ze znakomitą dokładnością opisujące cząstki subatomowe, nie pozostawia alternatyw: w jego ramach neutrino nie mogą mieć masy! Ta sprzeczność między teorią a doświadczeniem jest jedną z najsilniejszych wskazówek za istnieniem nieznanych cząstek subatomowych. Masa neutrino nie jest jednak ich jedyną zastanawiającą właściwością.

„O obecności neutrino dowiadujemy się obserwując produkty rozpadów różnych cząstek porównując to, co zarejestrowaliśmy, z tym, co przewiduje teoria. Okazuje się, że we wszystkich procesach świadczących o obecności neutrino cząstki te zawsze miały tę samą skrętność: 1/2, czyli były lewoskrętne. To ciekawe, bo pozostałe cząstki materii mogą być zarówno lewo-, jak i prawoskrętne. Lecz nigdzie nie widać neutrino prawoskrętnych, o spinie -1/2! Jeśli nie istnieją, to dlaczego? A jeśli istnieją, gdzie się chowają?”, pyta dr hab. Marcin Chrzęszcz (IFJ PAN).

Artykuł międzynarodowego zespołu fizyków, właśnie opublikowany w czasopiśmie „*The European Physical Journal C*”, przybliżył nas do odpowiedzi na powyższe pytania. Naukowcy z IFJ PAN, European Organization for Nuclear Research (CERN, Genewa), Université catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve, Belgia), Monash University (Melbourne, Australia), Technische Universität München (Niemcy) i University of Amsterdam (Holandia) przeprowadzili jak do tej pory najdokładniejszą analizę danych zebranych w kilkunastu najbardziej wyrafinowanych eksperymentach z zakresu fizyki subatomowej, zarówno tych o charakterze ogólnym, jak też bezpośrednio dedykowanych obserwacjom neutrin (m.in. PIENU, PS-191, CHARM, E949, NuTeV, DELPHI, ATLAS, CMS).

Badacze nie ograniczyli się do samego zwiększenia liczby eksperymentów i ilości przetworzonych danych. W swojej analizie uwzględnili możliwość występowania hipotetycznych procesów proponowanych przez teoretyków, a wymagających obecności neutrin prawoskrętnych. Jednym z nich był mechanizm huśtawki, związany z neutrinami Majorany.

W 1937 roku Ettore Majorana zapostulował istnienie cząstki materii będącej własną antycząstką. Taka cząstka nie mogłaby mieć ładunku elektrycznego. Ponieważ z wyjątkiem neutrin wszystkie cząstki materii przenoszą ładunek elektryczny, nową cząstką może być właśnie neutrino.

„Z teorii wynika, że jeśli neutrino Majorany istnieją, to może również istnieć mechanizm huśtawki. Powodowałby on, że gdy neutrino o jednej skrętności są mało masywne, to neutrino o skrętności przeciwnej muszą mieć bardzo duże masy. Skoro więc nasze neutrino, lewoskrętne, mają znikome masy, to w wersji prawoskrętnej musiałyby być masywne. To tłumaczyłoby, dlaczego ich dotychczas nie zobaczyliśmy”, mówi dr hab. Chrzęszcz i dodaje, że takie neutrino są jednym z kandydatów na ciemną materię.

Analiza, przeprowadzona z użyciem specjalistycznego pakietu open source GAMBIT, uwzględniała wszystkie aktualnie dostępne dane doświadczalne oraz zakresy parametrów przewidziane przez różne mechanizmy teoretyczne. Pod względem numerycznym była karkołomna. Sam mechanizm huśtawki powodował, że przy obliczeniach należało operować liczbami zmiennopozycyjnymi nie o podwójnej, a o poczwórnej precyzji. Ostatecznie objętość danych sięgnęła 60 TB. Analizę trzeba było przeprowadzić w najszybszym polskim klastrze obliczeniowym Prometheus, zarządzanym przez Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet Akademii Górniczo-Hutniczej.

Wyniki analizy, po stronie polskiej finansowanej z grantów Fundacji na rzecz Nauki Polskiej i Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej, nie napawają optymizmem. Okazało się, że mimo wielu eksperymentów i ogromnej ilości zgromadzonych danych, przestrzeń możliwych parametrów została spenetrowana w niewielkim stopniu.

„Być może prawoskrętne neutrino odkryjemy w eksperymentach, które rozpoczną się lada chwila. Jeśli jednak będziemy mieć pecha i prawoskrętne neutrino kryją się w najdalszych zakamarkach przestrzeni parametrów, na ich odkrycie możemy poczekać nawet i sto lat”, mówi dr hab. Chrzęszcz.

Na szczęście pojawił się też cień nadziei. W danych wychwycono ślad potencjalnego sygnału, który można byłoby wiązać z prawoskrętnymi neutrinami. Na obecnym etapie jest on bardzo słaby i ostatecznie może się okazać tylko statystyczną fluktuacją. Lecz co by się stało, gdyby nią nie był?

„W takim przypadku wszystko wskazuje na to, że prawoskrętne neutrino dałoby się zaobserwować już w następcy LHC, akceleratorze Future Circular Collider. FCC ma jednak pewną wadę: rozpocząłby pracę mniej więcej 20 lat od zatwierdzenia, do czego w optymalnym wariacie może dojść latem tego roku. Jeśli nie dojdzie, nim zobaczymy prawoskrętne neutrino będziemy musieli się uzbroić we wręcz gigantyczną cierpliwość”, podsumowuje dr hab. Chrzęszcz.

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie zajmuje się strukturą materii i własnościami oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po wnętrza cząstek elementarnych. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, 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. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość” o statusie Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) na lata 2012-2017. Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. W 2017 roku 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 kategorii MNiSW Instytut został zaliczony do kategorii naukowej A+ w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

KONTAKT:

dr hab. **Marcin Chrząszcz**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
email: marcin.chrzaszcz@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„A Frequentist Analysis of Three Right-Handed Neutrinos with GAMBIT”
M. Chrząszcz, M. Drewes, T. E. Gonzalo, J. Harz, S. Krishnamurthy, Ch. Weniger
The European Physical Journal C, 80, 569 (2020)
DOI: <https://doi.org/10.1140/epic/s10052-020-8073-9>

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:

IFJ200715b_fot01s.jpg **HR:** http://press.ifj.edu.pl/news/2020/07/15/IFJ200715b_fot01.jpg
Krakowski superkomputer Prometheus pomógł badaczom z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN tropić prawoskrętne neutrino.
(Źródło: Cyfronet, AGH)