

Gigantyczna symetria szansą na nową fizykę – i nowe cząstki

2018-11-15

Symetrie rządzące światem cząstek elementarnych na najbardziej fundamentalnym poziomie są być może radykalnie inne od dotychczas przewidywanych. Ten zaskakujący wniosek płynie z modelu przedstawionego przez teoretyków z Warszawy i Poczdamu. Zaprezentowany schemat łączy wszystkie oddziaływania przyrody w sposób zgodny z dotychczasowymi obserwacjami i przewiduje istnienie nowych cząstek o niezwykłych własnościach, być może obecnych nawet w naszym bezpośrednim otoczeniu.

Od pół wieku fizycy próbują skonstruować teorię łączącą fundamentalne siły przyrody, opisującą znane cząstki elementarne i przewidującą istnienie nowych. Próby te na razie nie znajdują potwierdzenia eksperymentalnego, a Model Standardowy – stara i z pewnością niepełna, lecz zaskakująco skuteczna konstrukcja teoretyczna – jest od lat z powodzeniem używany do opisu świata kwantów. Na łamach czasopisma „Physical Review Letters” profesorowie Krzysztof Meissner z Instytutu Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) oraz Hermann Nicolai z Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik w Poczdamie przedstawili nowy model uogólniający Model Standardowy i włączający do opisu grawitację. Usunięcie wad wcześniejszych prób stało się możliwe dopiero po użyciu symetrii dotychczas niestosowanej przy opisie cząstek elementarnych.

Symetrie w fizyce są rozumiane nieco inaczej niż w potocznym ujęciu. Czy upuścimy piłkę z tego samego miejsca teraz, czy za minutę, spadnie tak samo. To przejaw pewnej symetrii: prawa fizyki pozostają niezmienione względem przesunięć w czasie. Podobnie, możemy piłkę upuścić raz stojąc twarzą na południe, a raz na zachód, albo zrzucić z tej samej wysokości raz w jednym miejscu, a raz w drugim. Piłki spadną tak samo, co oznacza, że prawa fizyki są symetryczne także z uwagi na operacje (odpowiednio) obrotów i przesunięć w przestrzeni.

„W fizyce symetrie odgrywają ogromną rolę, ponieważ są z nimi związane zasady zachowania. Na przykład zasada zachowania energii wiąże się z symetrią praw fizyki względem przesunięcia w czasie, zasada zachowania pędu – względem translacji, zasada zachowania momentu pędu – względem obrotów”, wyjaśnia prof. dr hab. Krzysztof Meissner.

W latach 70. ubiegłego wieku rozpoczęto prace nad skonstruowaniem teorii supersymetrycznej, mającej opisywać symetrie między fermionami a bozonami. Fermiony to cząstki elementarne, których spin, czyli cecha kwantowa związana z obrotem, jest wyrażony nieparzystą krotnością ułamka $1/2$. Fermionami są m.in. kwarki oraz leptony, czyli elektrony, miony, taony oraz stowarzyszone z nimi neutrina (a także ich antycząstki). Protony i neutrony, tak powszechne w naszym świecie cząstki złożone, także należą do fermionów. Z kolei bozony to cząstki o spinie całkowitym. Znajdziemy wśród nich cząstki odpowiedzialne za oddziaływania (fotony przenoszące oddziaływania elektromagnetyczne, gluony – oddziaływania silne, bozony W i Z – oddziaływania słabe) oraz bozon Higgsa.

„Pierwsze teorie supersymetryczne próbowały łączyć oddziaływania typowe dla cząstek elementarnych, a

więc elektromagnetyczne o symetrii znanej jako $U(1)$, słabe o symetrii $SU(2)$ i silne o symetrii $SU(3)$. Brakowało wśród nich grawitacji”, mówi prof. Meissner i precyzuje: „Odpowiedniość (symetria) między bozonami i fermionami była tu globalna, a więc taka sama w każdym punkcie przestrzeni. Wkrótce potem powstały teorie, gdzie symetria była lokalna, czyli w każdym punkcie przestrzeni mogła być realizowana inaczej. W celu zagwarantowania takiej symetrii do teorii tych trzeba było dołączyć grawitację. Teorie te nazwano supergrawitacjami”.

Szybko zauważono, że w teoriach supergrawitacji w czterech wymiarach czasoprzestrzennych nie może być więcej niż osiem różnych obrotów supersymetrycznych. Każda z tych teorii ma ściśle określony zestaw pól (stopni swobody) o różnych spinach (0, $1/2$, 1, $3/2$ i 2), nazywanych odpowiednio polami skalarów, fermionów, bozonów cechowania, grawitin i grawitonu. Dla supergrawitacji $N=8$, czyli o maksymalnej liczbie obrotów, fermionów (o spinie $1/2$) jest 48, dokładnie tyle, ile stopni swobody dla sześciu rodzajów kwarków i sześciu rodzajów leptonów obserwowanych w przyrodzie! Wszystko więc wskazywało, że supergrawitacja $N=8$ jest pod wieloma względami wyjątkowa. Nie była jednak idealna.

Jednym z problemów powiązania supergrawitacji $N=8$ z Modelem Standardowym były ładunki elektryczne kwarków i leptonów. Wszystkie ładunki były przesunięte o $1/6$ w stosunku do obserwowanych w przyrodzie: elektron miał ładunek $-5/6$ zamiast -1 , neutrino $1/6$ zamiast 0 itd. Problem ten, zauważony ponad 30 lat temu przez samego Murraya Gell-Manna, udało się rozwiązać dopiero w 2015 roku. Profesorowie Meissner i Nicolai zaprezentowali wtedy odpowiedni mechanizm modyfikowania symetrii $U(1)$.

„Po wprowadzeniu poprawek otrzymaliśmy strukturę mającą symetrie $U(1)$ i $SU(3)$, znane z Modelu Standardowego. Podejście to jest bardzo odmienne od innych prób uogólnienia obecnej teorii cząstek elementarnych. Motywacją był tu fakt, że akcelerator LHC nie odkrył żadnych nowych cząstek spoza Modelu Standardowego, a skład fermionów o spinie $1/2$ w supergrawitacji $N=8$ może ten fakt wyjaśniać. W teorii brakowało jednak grupy $SU(2)$, odpowiedzialnej za oddziaływania słabe. W najnowszej publikacji opisaliśmy, jak można ją dołączyć. Zaproponowany mechanizm może tłumaczyć, dlaczego wcześniejsze próby detekcji nowych cząstek, motywowane teoriami, które traktowały symetrię $SU(2)$ jako spontanicznie złamaną dla niskich energii, lecz poprawną w obszarze wysokich energii, musiały zakończyć się niepowodzeniem. Według nas $SU(2)$ to tylko przybliżenie tak dla niskich, jak i dla wysokich energii!”, mówi prof. Meissner.

Zarówno mechanizm uzgadniający ładunki elektryczne cząstek, jak i poprawka włączająca oddziaływania słabe, okazują się należeć do reprezentacji grupy symetrii znanej jako E_{10} . W przeciwieństwie do grup do tej pory używanych w teoriach unifikacji, E_{10} jest grupą nieskończoną, bardzo słabo poznaną nawet od strony czysto matematycznej. Prof. Nicolai wraz z Thibaultem Damourem i Markiem Henneauxem zajmowali się tą grupą już wcześniej, ponieważ pojawiła się jako symetria w supergrawitacji $N=8$ w warunkach odpowiednich dla pierwszych chwil po Wielkim Wybuchu, a więc wtedy, gdy istotny był tylko jeden wymiar: czasowy.

„Po raz pierwszy mamy model, który dokładnie przewiduje skład fermionów Modelu Standardowego – kwarków i leptonów, na dodatek o właściwych ładunkach! – a jednocześnie włącza do opisu grawitację. Ogromnym zaskoczeniem jest fakt, że właściwą symetrią jest przytłaczająco gigantyczna, matematycznie praktycznie niezbadana grupa E_{10} . Jeśli dalsze prace potwierdzą rolę tej grupy, będzie to radykalna zmiana w naszej wiedzy o symetriach przyrody”, podsumowuje prof. Meissner.

Chociaż dynamika nie jest jeszcze znana, model zaproponowany przez profesorów Meissnera i Nicolai ma konkretne przewidywania. Liczba fermionów o spinie $1/2$ jest tu taka jak w Modelu Standardowym, ale sugeruje on istnienie nowych cząstek o niezwykłych własnościach. Co istotne, przynajmniej niektóre z nich mogłyby być obecne nawet w naszym otoczeniu, a ich detekcja powinna leżeć w granicach możliwości współczesnej aparatury pomiarowej. To jednak temat na odrębną opowieść.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 77 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Standard Model Fermions and Infinite-Dimensional R Symmetries”

K. A. Meissner, H. Nicolai

Physical Review Letters 121 (2018) 091601

DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.091601>

KONTAKTY:

prof. dr hab. Krzysztof Meissner

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

tel.: +48 22 5532844

email: krzysztof.meissner@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl>

Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>

Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.



[FUW181115a - Supergrawitacja E10.pdf \(148.9 kB\)](#)