

Superciężkie grawitino jako cząstka ciemnej materii

2025-10-16

Ciemna materia pozostaje jedną z największych tajemnic fizyki fundamentalnej. Wiele propozycji teoretycznych (aksjony, WIMP-y) i 40 lat intensywnych badań eksperymentalnych nie dostarczyły żadnego wyjaśnienia natury ciemnej materii. Kilka lat temu, w modelu Meissnera-Nicolai łączącym fizykę cząstek elementarnych i grawitację, pojawiła się propozycja nowych, radykalnie odmiennych kandydatów na ciemną materię – superciężkie naładowane grawitino. Niedawny artykuł w Physical Review Research autorstwa naukowców z Wydziału Fizyki i Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego oraz Max Planck Institute for Gravitational Physics w Poczdamie pokazuje, jak nowe podziemne detektory neutrin, w szczególności detektor JUNO, świetnie się nadają również do wykrywania naładowanych grawitin. Symulacje łączące dwie dziedziny, fizykę cząstek elementarnych i bardzo zaawansowaną chemię kwantową opisane w artykule, pokazują, że sygnały pochodzące od grawitin w detektorze powinny być całkowicie jednoznaczne.

Kilka lat temu Krzysztof Meissner z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i Hermann Nicolai z Max Planck Institute for Gravitational Physics (Instytut Alberta Einsteina/AEI) w Poczdamie wskazali na superciężkie, naładowane elektrycznie grawitino jako potencjalnych kandydatów na ciemną materię i zaproponowali metody ich poszukiwania w planowanych eksperymentach podziemnych. Niedawno opublikowana praca tych naukowców, we współpracy z Adrianną Kruk i Michałem Lesiukiem z Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego pokazuje, jak duże podziemne detektory neutrin mogłyby wykrywać grawitino na podstawie ich charakterystycznych śladów. W artykule naukowcy przedstawiają szczegółową analizę specyficznych sygnałów, które zdarzenia wywołane przez grawitino mogłyby wytwarzać w działającym od niedawna Jiangmen Underground Neutrino Observatory (JUNO) oraz w przyszłych detektorach, takich jak Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE). Obecna analiza wyznacza również nowe standardy w zakresie interdyscyplinarności, łącząc dwa bardzo różne obszary badań: fizykę oddziaływań fundamentalnych i metody współczesnej chemii kwantowej.

W 1981 roku Murray Gell-Mann, laureat Nagrody Nobla za wprowadzenie kwarków jako fundamentalnych składników materii, zauważył intrygujący fakt, że cząstki materii Modelu Standardowego, 6 kwarków i 6 leptonów, zawarte są w supergrawitacji $N=8$, teorii sformułowanej czysto matematycznie 2 lata wcześniej. Teoria ta zawiera, oprócz cząstek materii Modelu Standardowego,

również część grawitacyjną: grawiton i 8 grawitin, co może potencjalnie wskazywać drogę do rozwiązania najtrudniejszego problemu fundamentalnej fizyki teoretycznej – połączenia grawitacji z fizyką cząstek elementarnych. W szeregu prac Meissner i Nicolai zmodyfikowali supergrawitację $N=8$, zakładając radykalnie większą symetrię, tzw. symetrię $K(E_{10})$, do dzisiaj mało zbadaną matematycznie.

Jednym z zaskakujących rezultatów tej modyfikacji, opisanych w artykułach w *Physical Review Letters* <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.091601> i *Physical Review* <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.100.035001>, jest fakt, że grawitina, przypuszczalnie o niezwykle dużej masie zbliżonej do skali Plancka, tj. miliard miliardów mas protonu, są naładowane elektrycznie i do tego stabilne. Meissner i Nicolai zaproponowali jako kandydatów na ciemną materię 2 grawitina o ładunku $\pm 2/3$. Fakt, że grawitina posiadają ładunek elektryczny pozwala na zupełnie inną metodę ich poszukiwania niż stosowane do innych kandydatów na ciemną materię. Metoda ta wykorzystuje scyntylacyjne detektory neutrin. Poszukiwania są niezwykle utrudnione przez ekstremalną rzadkość (przypuszczalnie jedno grawitino na 10 000 km³ w Układzie Słonecznym), ale nowe, budowane albo planowane, dużo większe niż dotychczas, podziemne detektory otwierają realistyczne możliwości poszukiwania tych cząstek.

Działający od niedawna chiński eksperyment JUNO wydaje się szczególnie predestynowany do takich poszukiwań ze względu na jego ogromną objętość. W eksperymencie tym użyto 20 000 ton syntetycznego oleju ze specjalnymi dodatkami, w kulistym zbiorniku o średnicy około 40 metrów, i z ponad 17 tysiącami fotopowielaczy na otaczającej zbiornik sferze w celu rejestracji błysków związanych z pochłonięciem antyneutrina.

Niedawno opublikowany artykuł w czasopiśmie *Physical Review Research* autorstwa Meissnera i Nicolai, we współpracy z Adrianną Kruk i Michałem Lesiukiem z Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego, przedstawia szczegółową analizę sygnałów, które grawitina mogłyby wytwarzać w JUNO oraz w przyszłych detektorach z ciekłym argonem, takich jak DUNE w Stanach Zjednoczonych. Artykuł opisuje nie tylko podstawy teoretyczne, zarówno fizyczne, jak i chemiczne, ale także bardzo szczegółową symulację sygnałów z fotopowielaczy w funkcji prędkości i toru grawitina przemieszczającego się przez detektor. Wymagało to użycia bardzo zaawansowanych metod z zakresu chemii kwantowej i intensywnych obliczeń korzystających z dużej mocy obliczeniowej. Symulacje musiały uwzględniać wiele możliwych czynników tła – rozpad radioaktywnego ¹⁴C obecnego w oleju, samowzbudzenia fotopowielaczy (dark count rate), wydajność fotopowielaczy, absorpcję fotonów w oleju itd. Symulacje pokazują, że przy odpowiednim oprogramowaniu, przejście grawitina przez detektor pozostawi unikalny sygnał, którego nie da się błędnie przypisać jakiegokolwiek z obecnie znanych cząstek. Analiza wyznacza nowe standardy interdyscyplinarności, łącząc dwie różne dziedziny badań: teoretyczną i eksperymentalną fizykę cząstek elementarnych z jednej strony oraz bardzo zaawansowane metody współczesnej chemii kwantowej z drugiej.

Wykrycie przewidywanych przez model Meissnera i Nicolai superciężkich grawitin stanowiłoby niezwykle ważny krok w poszukiwaniu zunifikowanej teorii grawitacji i teorii cząstek elementarnych. Ponieważ model przewiduje, że grawitina mają masy rzędu masy Plancka, ich wykrycie stanowiłoby pierwszy wgląd w zjawiska fizyczne o energiach rzędu skali Plancka i wskazywałoby na sposób unifikacji grawitacji z pozostałymi oddziaływaniami.

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

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 Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1000 studentów i ok. 150 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 300 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

A. Kruk, M. Lesiuk, K.A. Meissner and H. Nicolai, Signatures of supermassive charged gravitinos in liquid scintillator detectors, Physical Review Research 7 (2025) 3, 033145,

<https://doi.org/10.1103/fm6h-7r78>

KANAŁ YOUTUBE:

<https://www.youtube.com/watch?v=ljKNDbeYAXY&t=233s>

KONTAKT:

Prof. Krzysztof Meissner
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
Krzysztof.Meissner@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<https://www.fuw.edu.pl>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

<https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego



[FUW251017a - superciezkie_grawitino \(1\).pdf \(386.4 kB\)](#)