

Wyścigi fotonów wokół czarnej dziury pomogły w badaniach kwantowej grawitacji

15 listopada 2022

Czy wszystkie fotony – nawet te o gigantycznych energiach – przemierzają Wszechświat z tą samą prędkością? Aby sprawdzić, czy różnic nie wywołują tu potencjalne efekty kwantowej grawitacji, polsko-chiński zespół naukowców zaprzął do pracy dwa spektakularne zjawiska kosmiczne: soczewki grawitacyjne i wybuchy promieniowania gamma. O badaniach, które ukazały się w [„The Astrophysical Journal”](#) poinformowali przedstawiciele Narodowego Centrum Badań Jądrowych.

Światło porusza się ze stałą prędkością, taką samą w każdym układzie odniesienia. Fakt ten, po raz pierwszy zauważony w 1887 roku przez Alberta Michelsona i Edwina Morleya, leży nie tylko u podstaw współczesnej fizyki, ale nawet inżynierii, jest bowiem tak fundamentalny, że stał się podstawą współczesnej definicji metra. Stałość prędkości światła oznacza, że tę samą drogę każdy foton pokona w tym samym czasie i o żadnych wyścigach między nimi nie może być mowy. „Chyba, że w grę wejdą efekty związane z kwantową grawitacją” – mówi cytowany w komunikacie prof. Marek Biesiada z Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Świerku.

Kwantowa grawitacja to teoria, która połączyłaby w sobie opis zjawisk związanych z grawitacją z opisem świata kwantów. Na razie bowiem nie jest jasne, jak znaleźć wspólny fizyczny „język”, który opisywałby dobrze zarówno zjawiska występujące w bardzo dużej i w bardzo małej skali. „Niektóre propozycje kwantowania grawitacji przewidują, że fotony o energiach znacząco większych od zazwyczaj rejestrowanych mogłyby się poruszać z nieco innymi prędkościami niż ich niskoenergetyczni koledzy. Efekt ten, na razie czysto hipotetyczny, nazywamy

łamaniem niezmienniczości lorentzowskiej. Gdyby udało się go zaobserwować, moglibyśmy mocno zawęzić zbiór teorii-kandydatów pretendujących do opisu kwantowej grawitacji” – opisuje prof. Biesiada.

Energie fotonów, przy których efekty kwantowej grawitacji mogłyby stać się wyraźnie widoczne, są jednak ogromne – miliony miliardów razy większe od energii protonów w Wielkim Zderzaczu Hadronów (która wynosi kilka teraelektronowoltów). Tymczasem najbardziej energetyczne z dotychczas zarejestrowanych fotonów, bardzo rzadko obserwowane, miały energię zaledwie kilkadziesiąt razy większą od energii wspomnianych protonów z LHC.

Astrofizycy próbujący zaobserwować kwantowe wyścigi fotonów stosują więc trik: starają obserwować fotony pochodzące od jak najdalszych obiektów. Oczekuje się, że efekty wywołane różnicą w prędkościach fotonów o różnych energiach powinny kumulować się na drodze źródło-detektor: im dalszy obiekt, tym silniejszy efekt związany z łamaniem symetrii Lorentza. Jeśli taki obiekt wyemituje jednocześnie fotony o różnych energiach, to nawet niewielkie różnice prędkości mogą spowodować powstanie zauważalnych opóźnień. W rezultacie te same zmiany w obrazie obiektu powinny pojawić się w strumieniu fotonów o jednej energii w nieco innym czasie niż w strumieniu fotonów o innej energii – czytamy w komunikacie.

Obecnie obserwowanymi źródłami najbardziej energetycznych fotonów są rozbłyski gamma, zwłaszcza krótkie, czyli trwające nie dłużej niż dwie sekundy. Rozbłyski tego typu powstają podczas łączenia się dwóch gwiazd neutronowych, a przypuszczalnie także przy zlewaniu się gwiazdy neutronowej z czarną dziurą. W trakcie zdarzenia większość energii jest emitowana w wąskim stożku kątowym jako wysokoenergetyczne promieniowanie gamma. Jeśli stożek ten jest zwrócony mniej więcej w kierunku Ziemi, rozbłysk można zarejestrować nawet wtedy, gdy jego źródło było oddalone od nas o miliardy lat świetlnych. „W przypadku krótkiego rozbłysku gamma wszystko,

na pierwszy rzut oka, wygląda świetnie: mamy źródło fotonów o różnych, dużych jak na dzisiejsze możliwości laboratoryjne energiach, do tego znajdujące się w znacznej odległości. Problem w tym, że nie rozumiemy dokładnie mechanizmu powstawania takich rozbłysków. Nie mamy więc gwarancji, że w jego trakcie fotony o małych i dużych energiach zostały wyemitowane jednocześnie” – zauważa dr Aleksandra Piórkowska-Kurpas (Uniwersytet Śląski).

W 2009 roku prof. Biesiada z dr Piórkowską-Kurpas, wówczas jego doktorantką, zaproponowali sposób na wyeliminowanie niepewności związanej z czasami emisji fotonów o różnych energiach w rozbłyskach gamma. Istota pomysłu sprowadzała się do znalezienia takich rozbłysków, które w drodze ku Ziemi przechodziłyby przez soczewkę grawitacyjną.

Soczewki grawitacyjne to masywne obiekty (czarne dziury, galaktyki) zdolne w zauważalnym stopniu zakrzywiać czasoprzestrzeń wokół siebie. Jeśli za soczewką grawitacyjną znajdzie się jakiś obiekt, jego światło, pierwotnie wyemitowane w nieco innych kierunkach, może zostać zogniskowane w pobliżu ziemskiego obserwatora. Zauważy on wtedy nie jeden, lecz kilka obrazów tego samego obiektu. „Rzecz w tym, że każdy z obrazów soczewkowanego rozbłysku gamma docierałby do nas nieco inną drogą. Gdybyśmy więc wykryli zmianę w jednym obrazie, moglibyśmy zmierzyć opóźnienie, z jakim zmiana ta pojawi się w innych obrazach. Kluczowe jest tu spostrzeżenie, że gdyby fotony o różnych energiach poruszały się z różnymi prędkościami, to z uwagi na różnicę w długościach dróg optycznych opóźnienie zmieniałoby się w zależności od energii fotonów” – mówi prof. Biesiada.

W najnowszym artykule, przygotowanym we współpracy z naukowcami z uniwersytetów w Pekinie i Wuhan i opublikowanym na łamach czasopisma „The Astrophysical Journal”, astrofizycy zajęli się dwoma przypadkami błysków gamma: GRB 950830 i GRB 200716C. Oba rozbłyski, odpowiednio z sierpnia 1995 roku i lipca 2020 roku, zostały ostatnio sklasyfikowane przez inną

grupe naukowców jako pierwsze przypadki soczewkowanych rozbłysków gamma, przy czym masę obiektów soczewkujących oceniono na kilka tysięcy mas Słońca (co odpowiada czarnym dziurom o pośrednich masach).

Po analizie danych z obserwacji rozbłysków polsko-chiński zespół doszedł do wniosku, że fotony zachowują niezmienniczość lorentzowską przynajmniej do energii rzędu milionów teraelektronowoltów. Jeśli więc efekty kwantowej grawitacji wpływają na prędkość propagowania się fotonów w przestrzeni, muszą to robić przy energiach powyżej tej wartości.

Znalezione ograniczenie jest nieco słabsze niż wartości otrzymywane innymi metodami, lecz jednocześnie bardziej wiarygodne z uwagi na wyeliminowanie niepewności związanej z czasami emisji fotonów o różnych energiach przez źródło. „Po kilkunastu latach od momentu zaprezentowania metody mogliśmy wreszcie pokazać jej działanie w praktyce. Wynik nie jest rozstrzygający, należy jednak pamiętać, że stawiamy dopiero pierwsze kroki, a podstawowym ograniczeniem są skąpe dane. Wraz z napływem coraz większej liczby coraz dokładniejszych obserwacji jakość naszych przewidywań będzie tylko rosnać” – podsumowuje prof. Biesiada.

Źródło: NaukawPolsce.pl