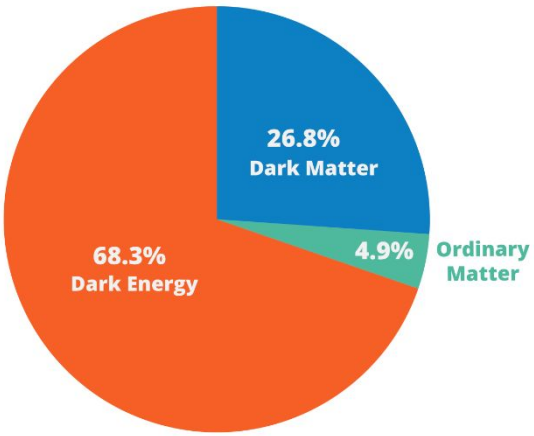
ULTRALEKKA CIEMNA MATERIA WYMYKA SIĘ DETEKCJI

Mimo iż ciemna materia stanowi 85% całej materii we Wszechświecie, jest ona dla nas całkowicie niewidoczna. Możemy jednak mierzyć jej wpływ na wiele obiektów niebieskich: znajduje się ona wokół każdej galaktyki i zapobiega uciekaniu gwiazd z ich orbit, zmienia kierunki promieni świetlnych z odległych galaktyk, kieruje formowaniem się wielkoskalowych struktur Wszechświata, a nawet pozostawiła ślady w mikrofalowym promieniowaniu tła, najdalszym i najstarszym zdjęciu Wszechświata, wykonanym, gdy miał on zaledwie kilkaset tysięcy lat.

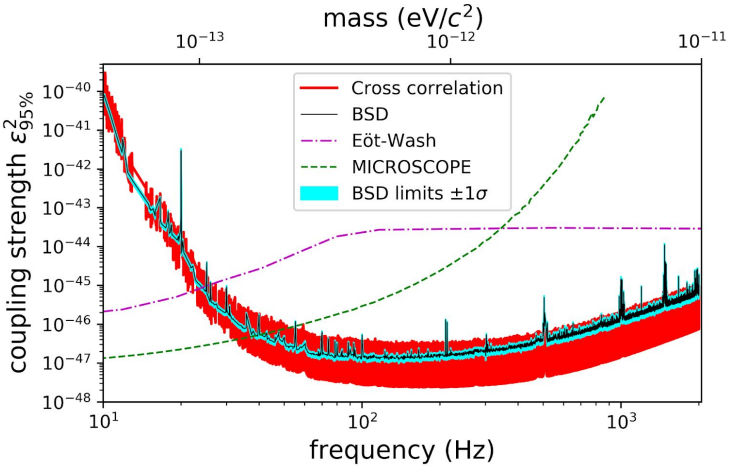
Detektory LIGO, Virgo, i KAGRA zostały zaprojektowane do poszukiwania fal grawitacyjnych pochodzących z łączących się czarnych dziur i gwiazd neutronowych, asymetrycznie obracających się pulsarów, eksplodujących gwiazd i kombinacji wszystkich tych źródeł. Detektory te są jednak tak czułe, że mogą również obserwować ciemną materię, która oddziałuje z nimi bezpośrednio. Tutaj szukamy określonego typu ciemnej materii, ciemnych fotonów, które mogłyby mieć masę o dwadzieścia rzędów wielkości mniejszą niż masa elektronu. Na Ziemi cząstki te poruszałyby się z prędkością około 300 km/s i byłoby ich tak bardzo dużo, O(10^{50}), że mogłyby oddziaływać z protonami i neutronami lub po prostu z neutronami w zwierciadłach detektora i wywoływać zależną od czasu siłę oscylacyjną działającą na zwierciadła. Lustra znajdują się w różnych miejscach względem nadchodzących ciemnych fotonów i są oddalone od siebie o trzy lub cztery kilometry; w ten sposób każde lustro będzie poruszać się w nieco inny sposób, co pozwoli na ewentualną detekcję sygnału.



***Rysunek 1**: Oszacowanie aktualnej zawartość materii i energii we Wszechświecie. Dominujący udział pochodzi od tak zwanej ciemnej energii (ang. Dark Energy), która napędza przyspieszoną ekspansję Wszechświata. Pozostały wkład, około jednej trzeciej, pochodzi z ciemnej materii (Dark Matter) i zwykłej materii (tj. atomów, Ordinary Matter), przy czym ciemna materia stanowi około 85% całkowitej zawartości materii (źródło: ATLAS Experiment, CERN)*

RYSUNKI Z PUBLIKACJI

Aby uzyskać więcej informacji na temat rysunków i sposobu ich wykonania, przeczytaj bezpłatnie dostępny preprint.



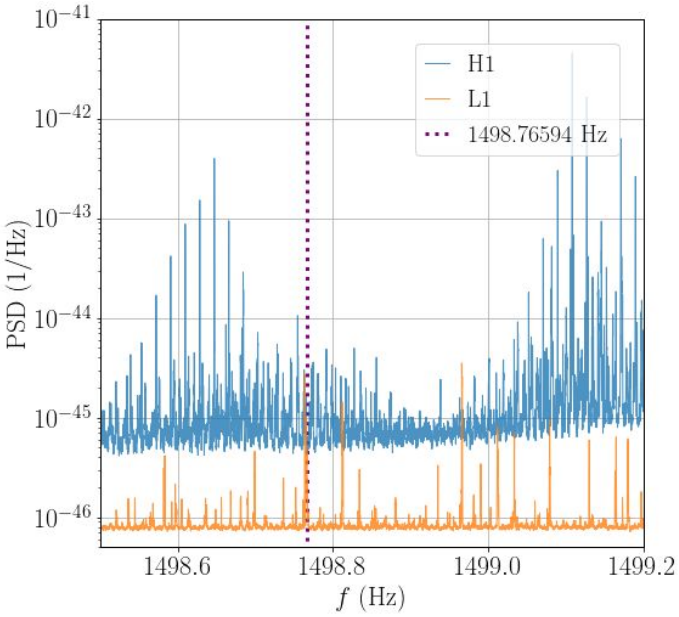
***Rysunek 2** (Rys. 3 w artykule): Górne ograniczenia na siłę sprzężenia ciemnych fotonów ze zwierciadłami w interferometrach, w funkcji częstotliwości sygnału. (W analizie wykorzystano również dane z detektora Virgo, lecz pokazane tutaj górne ograniczenia dotyczą tylko dwóch detektorów LIGO.) W tym badaniu wykluczono siły sprzężenia powyżej czerwonej i czarnej/niebieskiej linii: im niższe ograniczenie, tym bardziej restrykcyjne są nasze poszukiwania. Dwie metody, których użyliśmy do poszukiwania ciemnej fotonowej materii (nazwane "cross correlation" i "BSD"), dały spójne wyniki. Dla wielu częstotliwości ograniczenia te są 10-100 razy lepsze niż otrzymane w innych eksperymentach z ciemną materią (MICROSCOPE i Eot-Wash). Siła sprzężenia ciemnych fotonów jest wyrażona jako ułamek sprzężenia elektromagnetycznego.*

Ponieważ zakładamy, że cząstki ciemnej materii mają ustaloną masę, sygnał będzie miał w przybliżeniu jedną częstotliwość. Ciemna materia zawsze przepływa przez detektory, co oznacza, że ciemne fotony nieustannie oddziałują z lustrami. Dlatego sygnał jest ciągły, zawsze obecny i o prawie stałej częstotliwości. W praktyce częstotliwość sygnału zmienia się losowo o bardzo małą wartość w czasie, ponieważ ciemne fotony mogą poruszać się z różnymi prędkościami podczas oddziaływania z detektorem.

W naszej pracy wykorzystujemy dane z trzeciej kampanii obserwacyjnej Advanced LIGO i Advanced Virgo, aby określić czy i z jaką siłą ciemne fotony mogą sprzęgać się z interferometrami. Chociaż nie wykryliśmy sygnału, możemy określić górne ograniczenia takiego sprzężenia jako funkcję masy hipotetycznego ciemnego fotonu. W tej analizie sprzężenie ciemnych fotonów z interferometrycznymi detektorami fal grawitacyjnych zostało zmierzone jako nie większe niż jedna część na 10^{40} sprzężenia elektromagnetycznego dla wszystkich ultralekkich mas, które rozważaliśmy, a nawet tak niskie jak jedna część na 10^{47} przy niektórych masach! Nasze ograniczenia są około 10-100 razy lepsze niż te uzyskane w innych eksperymentach, które zostały zaprojektowane specjalnie do poszukiwania ciemnej materii. Nasze pomiary sprzężenia ciemnych fotonów z detektorami LIGO i Virgo dają nam wgląd w to, jak ciemna materia wpływa na obecny Wszechświat i jak mogła się uformować.

DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ:

Bezpłatny preprint pełnego artykułu naukowego możesz przeczytać tutaj.



Rysunek 3 *(Rys. 2 w artykule): Nasze poszukiwania początkowo znalazły pewnych kandydatów na sygnały, którzy wszyscy zostali odrzuceni, ponieważ ich źródłem były artefakty związane z instrumentalnym szumem. Rysunek powyżej ilustruje jakość danych (w postaci gęstości widmowej mocy) zebranych przez dwa detektory LIGO, z wyraźnymi okresowymi strukturami w detektorze w Hanford („H1") i wąskim pikiem w detektorze w Livingston („L1"), obie te struktury wywołane są znanymi problemami instrumentalnymi. Dlatego kandydat na sygnał znaleziony przy częstotliwości wskazanej linią pionową został wykluczony jako sygnał ciemnej materii.*

Odwiedź nas w internecie:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en

SŁOWNICZEK

LIGO: laserowe interferometryczne obserwatorium fal grawitacyjnych (skrót LIGO od angielskiej nazwy Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory) obejmujące dwa detektory fal grawitacyjnych zlokalizowane w USA. Jeden z detektorów znajduje się w pobliżu Livingston w stanie Luizjana, drugi w pobliżu Hanford w stanie Waszyngton. Oba detektory to wielkoskalowe interferometry laserowe z dwoma prostopadłymi ramionami o długości 4 km każde. Detektory mierzą różnicę zmian względnej długości ramion spowodowanych padająca na detektor falą grawitacyjną.

Virgo: detektor fal grawitacyjnych położony we Włoszech w pobliżu Pizy. Jest to również interferometr laserowy, ale z ramionami o długości 3 km.

KAGRA: podziemny detektor fal grawitacyjnych położony w Japonii w pobliżu miejscowości Toyama. Jest to interferometr laserowy z ramionami o długości 3 km i zwierciadłami chłodzonymi do niskich temperatur.

Czułość: opis zdolności detektora do wykrycia sygnału. Detektory o niższym poziomie szumów są w stanie wykryć słabsze sygnały i dlatego mówi się, że mają wyższą (lub większą) czułość.

Kampania obserwacyjna: Okres czasu, w którym detektory fal grawitacyjnych zbierają dane.

Górne ograniczenie: stwierdzenie jaką maksymalną wartość może mieć pewna wielkość, będąc nadal zgodną z danymi.

Sprzężenie: o sprzężeniu mówimy, gdy jedna cząstka oddziałuje w określony sposób z innymi.

Sprzężenie elektromagnetyczne: siła oddziaływania między naładowanymi cząstkami.

Pulsary: wirujące, martwe gwiazdy złożone głównie z neutronów; są bardzo dokładnymi zegarami, ponieważ szybko się obracają i w bardzo regularnych odstępach czasu wysyłają w kierunku Ziemi wiązkę światła, podobnie jak latarnia morska.