

Embargo Nature do dnia 24 czerwca 2024 r. godz. 17:00.

Czy czarne dziury tworzą ciemną materię?

Jedną z największych zagadek współczesnej astronomii jest wyjaśnienie pochodzenia czarnych dziur odkrywanych przez detektory fal grawitacyjnych, LIGO i Virgo. Jedną z hipotez postuluje, że te obiekty powstały w bardzo młodym Wszechświecie i, oprócz emisji fal grawitacyjnych, mogą tworzyć zagadkową ciemną materię wypełniającą kosmos. Zespół naukowców pracujących w ramach projektu OGLE (*Optical Gravitational Lensing Experiment*) prowadzonego w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Warszawskiego ogłosił właśnie wyniki dwudziestoletnich obserwacji wskazujących, iż takie czarne dziury mogą stanowić zaledwie znikomy procent ciemnej materii. Należy więc szukać innych wytłumaczeń pochodzenia źródeł fal grawitacyjnych. Dwie publikacje projektu OGLE opisujące wyniki tych badań ukazały się w najbardziej prestiżowych czasopismach naukowych, w tym w głównym magazynie *Nature*.

Obserwacje astronomiczne wskazują, że zwyczajna materia, którą możemy dotknąć lub zobaczyć, stanowi zaledwie 5% całkowitej masy i energii całego Wszechświata. W Drodze Mlecznej, na 1 kg materii zawartej w gwiazdach przypada 15 kg “ciemnej materii”, nieświecącej i oddziaływującej wyłącznie za pośrednictwem grawitacji.

– *Natura ciemnej materii pozostaje wielką zagadką. Większość naukowców uważa, że składa się ona z nieznanych cząstek elementarnych* – mówi dr Przemysław Mróz z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego, pierwszy autor publikacji w *Nature* i *Astrophysical Journal Supplement Series*. *Problem w tym, że pomimo wielu dekad wysiłków, żaden eksperyment, na czele z eksperymentami prowadzonymi za pomocą Wielkiego Zderzacza Hadronów, nie doprowadziły do odkrycia nowych cząstek, które mogłyby tworzyć ciemną materię.*

Od 2015 roku, gdy dokonano pierwszej bezpośredniej obserwacji fal grawitacyjnych pochodzących od pary łączących się czarnych dziur, detektory LIGO i Virgo odkryły ponad 90 kolejnych takich zjawisk. Zauważono, że czarne dziury znajdowane za pomocą fal grawitacyjnych są znacznie bardziej masywne (typowo 20–100 mas Słońca) niż te znane wcześniej w Drodze Mlecznej (typowo 5–20 mas Słońca).

– *Wyjaśnienie dlaczego te dwie populacje czarnych dziur tak bardzo się różnią jest jedną z największych zagadek współczesnej astronomii* – mówi dr Mróz.

W jednym z możliwych rozwiązań tej zagadki, zasugerowano, że detektory fal grawitacyjnych znajdują tzw. pierwotne czarne dziury (*primordial black holes*), które mogłyby powstać na bardzo wczesnych etapach ewolucji Wszechświata. Istnienie pierwotnych czarnych dziur zostało zapostulowane ponad pół wieku temu przez

stynnego brytyjskiego fizyka-teoretyka Stephena Hawkinga i, niezależnie, radzieckiego fizyka Jakowa Zeldowicza.

– Wiemy, że młody Wszechświat nie był idealnie gładki – niewielkie fluktuacje gęstości dały początek obecnym galaktykom i gromadom galaktyk – tłumaczy dr Mróz. Podobne fluktuacje gęstości, jeżeli miałyby dostatecznie dużą amplitudę, mogłyby się zapaść pod własnym ciężarem i utworzyć czarne dziury.

Co więcej, od odkrycia fal grawitacyjnych, coraz częściej spekuluje się, że takie czarne dziury mogłyby potencjalnie odpowiadać za dużą część, jeśli nie całość, ciemnej materii we Wszechświecie.

Na szczęście hipotezę tę można zweryfikować za pomocą obserwacji astronomicznych. Wiemy, że duże ilości ciemnej materii znajdują się również w naszej Drodze Mlecznej. Jeżeli więc założymy, że ciemna materia składa się z masywnych czarnych dziur, powinniśmy je wykrywać w naszym najbliższym kosmicznym otoczeniu. Tylko jak to zrobić skoro czarne dziury nie świecą?

Z pomocą przychodzi ogólna teoria względności, sformułowana po raz pierwszy przez Alberta Einsteina, która przewiduje, że światło odległych gwiazd może być ugięte w polu grawitacyjnym masywnych obiektów. To tak zwane zjawisko mikrosoczewkowania grawitacyjnego.

– Mikrosoczewkowanie zachodzi, jeżeli trzy obiekty – obserwator, źródło światła i obiekt-soczewka – ustawią się niemal dokładnie w jednej linii w przestrzeni – mówi prof. Andrzej Udalski, lider projektu OGLE. Światło źródła może zostać ugięte i znacznie wzmocnione, obserwujemy jego tymczasowe pojaśnienie.

Czas trwania pojaśnienia zależy od masy soczewkującego obiektu, im większa masa, tym dłuższe zjawiska mikrosoczewkowania. W przypadku gwiazd o masie Słońca pojaśnienia trwają zwykle kilka miesięcy, w przypadku czarnych dziur stukrotnie większych niż Słońce - powinny trwać nawet kilka lat.

Sam pomysł zastosowania zjawisk mikrosoczewkowania do badania ciemnej materii nie jest nowy. Po raz pierwszy zaproponował to w latach 80. XX w. słynny polski astrofizyk, prof. Bohdan Paczyński. Jego pomysł stał się inspiracją do powstania w latach 90. trzech eksperymentów badających mikrosoczewkowanie – polskiego projektu OGLE, amerykańskiego MACHO i francuskiego EROS. Wyniki otrzymane w pierwszych fazach projektu OGLE, MACHO i EROS wskazywały, że czarne dziury o masach mniejszych niż jedna masa Słońca mogą tworzyć co najwyżej 10% ciemnej materii. Obserwacje te nie były jednak czułe na najdłuższe zjawiska mikrosoczewkowania, trwające po kilka lat, a więc na potencjalne masywne czarne dziury, takie jak odkrywa się obecnie za pomocą fal grawitacyjnych.

W najnowszej publikacji w *Astrophysical Journal Supplement* astronomowie z projektu OGLE prezentują niemal dwudziestoletnie obserwacje około 80 milionów gwiazd znajdujących się w sąsiedniej galaktyce, zwanej Wielkim Obłokiem Magellana i analizują występowanie zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego w tym kierunku. Dane pochodzą z trzeciej i czwartej fazy projektu OGLE i zostały zebrane w latach 2001-2020.

– *To najdłuższy, największy i najdokładniejszy ciąg czasowy obserwacji fotometrycznych Wielkiego Obłoku Magellana zebranych w historii współczesnej astronomii* – mówi prof. Udalski.

W równoległej pracy opublikowanej w tygodniku *Nature* przedstawione są astrofizyczne konsekwencje uzyskanych rezultatów tych unikalnych obserwacji.

– *Gdyby cała ciemna materia składała się z czarnych dziur o masie 10 mas Słońca, powinniśmy byli wykryć łącznie 258 zjawisk mikrosoczewkowania* – mówi dr Mróz. *W przypadku czarnych dziur o masie 100 mas Słońca – 99 zjawisk, 1000 mas Słońca – 27 zjawisk.*

Tymczasem astronomowie znaleźli w danych OGLE “zaledwie” 13 zjawisk mikrosoczewkowania. Co więcej, większość z nich była stosunkowo krótka, trwała mniej niż 100 dni. Ich szczegółowa analiza wykazała, że wszystkie mogły być spowodowane przez zwykłe gwiazdy w dysku Drogi Mlecznej lub w samym Wielkim Obłoku Magellana, a nie czarne dziury.

– *Wskazuje to, że masywne czarne dziury mogą stanowić co najwyżej niewielki ułamek ciemnej materii* – podsumowuje dr Mróz.

Rzeczywiście, szczegółowe obliczenia pokazują, że czarne dziury o masie 10 mas Słońca mogą stanowić co najwyżej 1,2% ciemnej materii, 100 mas Słońca – 3,0% ciemnej materii, 1000 mas Słońca – 11% ciemnej materii.

– *Nasze obserwacje dowodzą więc, że pierwotne czarne dziury nie mogą jednocześnie być źródłami fal grawitacyjnych i tworzyć znaczącej części ciemnej materii* – mówi prof. Udalski.

Znacznie bardziej prawdopodobne są więc inne wyjaśnienia dużych mas czarnych dziur odkrywanych przez LIGO i Virgo. Jedna z takich hipotez zakłada, że powstały one w wyniku ewolucji masywnych gwiazd o niskiej zawartości ciężkich pierwiastków. Według innej, masywne czarne dziury powstały w wyniku łączenia się mniejszych obiektów w obszarach gęstych w gwiazdy (jak na przykład gromady kuliste).

– *Opublikowane prace to podsumowanie ponad 30-letnich działań projektu OGLE w zakresie badań ciemnej materii, której poszukiwanie było jednym z podstawowych motorów jego powstania* – podsumowuje prof. Udalski. *Niewątpliwie prezentowane*

właśnie wyniki to nasz “opus magnum” i wejdzie on na długie lata do podręczników astronomii – dodaje.

W ramach projektu OGLE, który jest jednym z największych współczesnych przeglądów nieba, prowadzone są regularne obserwacje fotometryczne od ponad 32 lat. Jednym z pierwszych celów naukowych przeglądu OGLE było odkrycie i badanie zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Obecnie prowadzone badania dotyczą bardzo wielu dziedzin współczesnej astrofizyki – poszukiwania planet pozasłonecznych, badania struktury i ewolucji Drogi Mlecznej i sąsiednich galaktyk, gwiazd zmiennych, kwazarów, zjawisk przejściowych (gwiazd nowych, supernowych).

Publikacje podsumowujące i analizujące dwudziestoletnie obserwacje Wielkiego Obłoku Magellana przez projekt OGLE ukazały się jednocześnie w prestiżowym tygodniku naukowym *Nature*:

„No massive black holes in the Milky Way halo”, Przemek Mróz, Andrzej Udalski, Michał K. Szymański, Igor Soszyński, Łukasz Wyrzykowski, Paweł Pietrukowicz, Szymon Kozłowski, Radosław Poleski, Jan Skowron, Dorota Skowron, Krzysztof Ulaczyk, Mariusz Gromadzki, Krzysztof Rybicki, Patryk Iwanek, Marcin Wrona i Milena Ratajczak, 2024, *Nature*, DOI:10.1038/s41586-024-07704-6

oraz w czasopiśmie *Astrophysical Journal Supplement Series*:

“Microlensing optical depth and event rate toward the Large Magellanic Cloud based on 20 years of OGLE observations”, Przemek Mróz, Andrzej Udalski, Michał K. Szymański, Mateusz Kapusta, Igor Soszyński, Łukasz Wyrzykowski, Paweł Pietrukowicz, Szymon Kozłowski, Radosław Poleski, Jan Skowron, Dorota Skowron, Krzysztof Ulaczyk, Mariusz Gromadzki, Krzysztof Rybicki, Patryk Iwanek, Marcin Wrona i Milena Ratajczak, 2024, *Astrophysical Journal Supplement Series*, DOI:10.3847/1538-4365/ad452e

Projekt OGLE jest współfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (granty naukowe Ideas i luventus plus, Stypendia dla Wybitnych Młodych Naukowców, Diamentowe Granty, SPUB), Narodowe Centrum Nauki (granty MAESTRO, Opus, Harmonia, Sonata, Symfonia) oraz Fundację na Rzecz Nauki Polskiej (subsytia profesorskie, programy Team, Homing, Focus oraz Start). Badania nad zawartością czarnych dziur w ciemnej materii zostały sfinansowane z grantu OPUS o numerze 2021/41/B/ST9/00252 przyznanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Materiały graficzne:

Materiały graficzne znajdują się na stronie internetowej: <https://www.astrouw.edu.pl/~jskowron/ogle/PR/PBHs2024/>

Do momentu zakończenia embargo (24 czerwca 2024, godz. 17) ta strona jest chroniona hasłem:

Login: ogle

Hasło: pbhs_ogle_2024

Kontakt:

Dr Przemek Mróz

e-mail: pmroz@astrouw.edu.pl

Obserwatorium Astronomiczne UW, Al. Ujazdowskie 4, 00-478 Warszawa

tel: 48-22-5530507 w. 115

Prof. Andrzej Udalski

e-mail: udalski@astrouw.edu.pl

Obserwatorium Astronomiczne UW, Al. Ujazdowskie 4, 00-478 Warszawa

tel: 48-22-5530507 w. 116