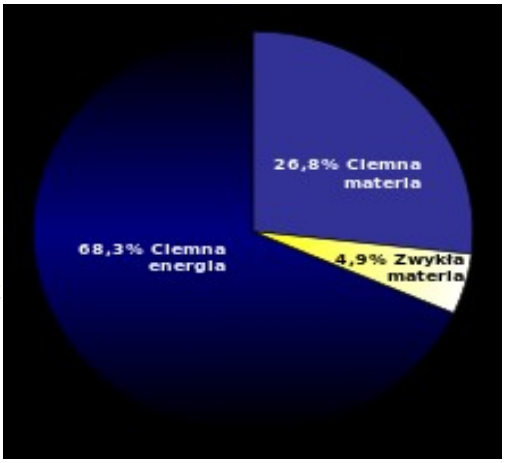
Kwazary, a ciemna energia

Jedną z najważniejszych zagadek obecnych czasów jest zrozumienie natury ciemnej energii. Zaproponowano wiele metod, które pozwolą wyznaczyć własności ciemnej energii, opartych między innymi na badaniach mikrofalowego promieniowania tła (CMB), słabego soczewkowania grawitacyjnego[1], supernowych typu Ia, czy kwazarów. Zespół prowadzony przez prof. Bożenę Czerny testuje wykorzystanie właśnie tych ostatnich jako wyznaczników rozkładu ciemnej energii.

Z niecierpliwością czekano na wyniki misji Planck[2], które pojawiły się 21 marca. Okazało się, że Wszechświat rozszerza się wolniej niż dotychczas przewidywano. Zawartość ciemnej energii, która jest odpowiedzialna za ekspansję Wszechświata wynosi nie jak szacowano dotychczas (72.8%), lecz 68,3%. Świecącej materii jest około 5%, natomiast ilość ciemnej materii szacuje się na prawie 27%.



Rysunek 1: Szacowany skład energetyczny Wszechświata Źródło:http://pl.wikipedia.org/wiki/Ciemna_energia

Czym jest ta tajemnicza ciemna energia?

Już w 1917 roku Einstein wprowadził do równań ogólnej teorii względności pewną stałą (zwaną stałą kosmologiczną), dzięki której można było sformułować statyczny (niezmienny) model Wszechświata, który był zgodny z panującymi ówcześnie poglądami. Ten dodatkowy człon odpowiadał dodatniej gęstości ośrodka oraz dużej wartości ujemnego ciśnienia. Zarówno gęstość jak i ciśnienie dają wkład do energii, przy czym to ostatnie dominuje. Ośrodek zachowując się tak jak gdyby posiadał ujemną masę, odpycha się grawitacyjnie, a nie przyciąga.

Gdy kilka lat później Edwin Hubble pokazał, że Wszechświat jednak ekspanduje, Einstein uznał wprowadzenie stałej kosmologicznej za swoją ogromną pomyłkę i zrezygnował z niej.

Do tego problemu powrócono kilkadziesiąt lat później, kiedy w latach sześćdziesiątych na podstawie obserwacji zaczęto postulować, że obecnie Wszechświat ekspanduje nieco szybciej, przez co można go opisać modelem ze stałą kosmologiczną. Następnie w latach dziewięćdziesiątych, przełomowym odkryciem stały się obserwacje promieniowania tła przez satelitę COBE. Pokazano, że CMB przejawia niejednorodności oraz potwierdzono model, mówiący że nasz Wszechświat jest płaski. By to wyjaśnić, Wszechświat musiałby być wypełniony dużą ilością materii, tak by mógł osiągnąć odpowiednią gęstość. Niestety znanej nam materii jest za mało. Ciemnej materii[3] – niemożliwej do zaobserwowania przez teleskop, ponieważ nie emituje ona żadnego promieniowania, a której istnienie postulujemy na podstawie wywoływanych przez nią efektów grawitacyjnych, również jest za mało. Tak więc jedynym rozwiązaniem wydaje się właśnie płaski model ze stałą kosmologiczną, która została

określona popularnym mianem „ciemnej energii”.

W 1994 roku m.in. Jerry Ostriker, pokazał że w celu wyjaśnienia obserwowanej liczby gromad galaktyk emitujących silne promieniowanie rentgenowskie niezbędna jest stała kosmologiczna. Następnie dwie grupy badaczy dokonały obserwacji odległych supernowych i oszacowano jak z biegiem czasu zmieniała się ekspansja Wszechświata. Za to odkrycie Perlmutter, Schmidt i Riess otrzymali w 2011 roku Nagroda Nobla[4].

Jak już wspomniano na początku, możliwe jest wykorzystanie kwazarów do wyznaczenia własności ciemnej energii.

W 1960 roku Thomas Matthews ustalił dokładne położenie radioźródła 3C 48, które charakteryzowało się silnym promieniowaniem. Gdy następnie nakierowano na obiekt teleskop optyczny okazało się, że promieniowanie pochodzi z punktowego obiektu, wyglądającego jak mała gwiazda. Stąd też pochodzi ich nazwa, która w dosłownym tłumaczeniu znaczy „obiekt gwiazdopodobny” (quasi stellar object). Pojawiało się coraz więcej obiektów tego typu. Próbowano analizować ich widma. Przypominały one bardziej widma galaktyki niż gwiazd, jednakże nie potrafiono zidentyfikować poszczególnych linii. Zagadkę tę rozwiązał w końcu Schmidt, który zidentyfikował wodór, a następnie pozostałe linie. Okazało się, że są one znacząco przesunięte ku czerwieni (dla 3C 48 przesunięcie to wynosiło 38%). Z tego wniosek, że kwazary są bardzo daleko od nas. Pojawia się pytanie, czemu pomimo tak wielkiej odległości, rzędu od kilku do kilkunastu miliardów lat świetlnych, obiekty te są tak silnymi radioźródłami?

W latach osiemdziesiątych sklasyfikowano kwazary jako aktywne jądra galaktyk. Większość galaktyk zawiera w swoim centrum supermasywne czarne dziury, posiadające masę od miliona do kilku miliardów mas Słońca. Gaz wirujący dookoła czarnej dziury świeci, dlatego pomimo bardzo dużej odległości, kwazary są tak bardzo jasnymi obiektami. Ich jasność może przewyższać wielokrotnie jasność wszystkich gwiazd w macierzystej galaktyce, a wysyłane promieniowanie pokrywa cały zakres fal elektromagnetycznych: od emisji radiowej przez optyczną do promieni rentgenowskich i gamma.

Rysunek 2: Wielki Teleskop Południowoafrykański

Źródło: http://www.salt.ac.za/public-info/picture-gallery/salt-images/outside-view-images/

Obserwacje kwazarów wykorzystanych we wspomnianym projekcie zostały przeprowadzone przez teleskop SALT (Southern African Large Telescope, czyli Wielki Teleskop Południowoafrykański). Teleskop ten jest największym samodzielnym teleskopem optycznym na półkuli południowej. Jego sześcioboczne zwierciadło

ma kształt sferyczny i składa się z mozaiki 91 sześciokątów o boku 1m, jak przedstawiono na rysunku nr 3.

Rysunek 3: Fragment zwierciadła teleskopu SALT

Źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Salt_mirror.jpg

Znajdujący się na terenie Południowoafrykańskiego Obserwatorium Astronomicznego (South African Astronomical Observatory) teleskop SALT, należy do międzynarodowego konsorcjum, w skład którego wchodzi również Polska. Jej wkład wynosi 10%, co przekłada się na dostęp do 10% czasu teleskopu dla naszego kraju do wykorzystania na własne cele.

Na czym właściwie polega projekt? Jak zaznaczono wyżej, właśnie kwazary są obiektami zainteresowania projektu. Ponieważ odległość do tych dalekich i niezwykle silnie świecących obiektów wiąże się z ich przesunięciem ku czerwieni, a to z kolei wywołane jest ekspansją Wszechświata, możemy, wyznaczając te parametry, poznać dokładniej tempo rozszerzania się Wszechświata.

Zadanie składa się zatem z dwóch etapów. Pierwszy z nich, łatwiejszy, polega na zmierzeniu jasności obserwowanej kwazara oraz jego przesunięcia ku czerwieni. Część druga, przedstawiająca już bardziej skomplikowany problem, to określenie jasności absolutnej[5] kwazara.

Wykorzystywana metoda opiera się o teorię powstawania tzw. Obszaru Szerokich Linii Emisyjnych, sformułowaną w pracy Czerny & Hryniewicz (2011). Obszar ten to region znajdujący się w pobliżu centralnej czarnej dziury w aktywnej galaktyce, zawierający chmury gazu. Temperatura dysku otaczającego czarną dziurę rośnie w miarę zbliżania się do

centralnej części i dla odległości od centrum, dla której temperatura ta przekracza 1000K, jest już zbyt gorąco, aby pył mógł przetrwać. Gazowo - pyłowy pierścień powstaje zatem w pewnej odległości od czarnej dziury. Z pierścienia tego na skutek działania ciśnienia promieniowania obłoki gazowo - pyłowe zostają wyrzucone z dużą prędkością. Atomy tego szybko poruszającego się gazu odpowiadają za powstawanie szerokich linii emisyjnych, które możemy mierzyć teleskopami naziemnymi. Położenie tego pierścienia zależy od jasności absolutnej obiektu. Wszystko sprowadza się zatem do określenia odległości Obszaru Szerokich Linii Emisyjnych od czarnej dziury. Dokonuje się tego za pomocą pomiarów zmian jasności danego obiektu oraz zmian jasności linii emisyjnych. Zmierzony czas opóźnienia tych linii wyznacza właśnie tę odległość, a zatem poszukiwaną jasność absolutną.
Aby jednak można było to opóźnienie zaobserwować, należy przez dłuższy czas monitorować kilka wybranych kwazarów. Do tego potrzebny jest duży teleskop i dlatego właśnie obserwacje prowadzone są na teleskopie SALT. My zajmujemy się analizą tych danych obserwacyjnych.

Rozpoczęty już projekt daje nadzieję na uzyskanie interesujących wyników. Niestety ich osiągnięcie nie nastąpi szybko. Czas poszukiwanego opóźnienia szacowany jest na kilkaset dni, co oznacza, że obserwacje należy prowadzić przez około pięć lat. Istnieje jednak spora szansa, iż cierpliwość uczestników projektu zostanie nagrodzona poszukiwanymi pomiarami opóźnienia, potrzebnymi do wyznaczenia ograniczeń na tempo ekspansji Wszechświata, a zatem uchylenia rąbka tajemnicy, wciąż spowijającej problem ciemnej energii. A my cieszymy się, że dzięki finansowaniu przez FNP możemy uczestniczyć w tym projekcie.

FNP
Fundacja na rzecz Nauki Polskiej

Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika
Polskiej Akademii Nauk

Magdalena Krupa & Agnieszka Świętoń

Bibliografia:

1. http://users.camk.edu.pl/bcz/SALT/index.html
2. http://www.phys.vt.edu/~jhs/faq/quasars.html#q1
3. http://en.wikipedia.org/wiki/
4. http://www.salt.ac.za/

1,2) Więcej informacji o mikrofalowym promieniowaniu tła i wynikach misji Planck można znaleźć na stronie: http://orion.pta.edu.pl/wszechswiat-niemal-idealny

Słabe soczewkowanie grawitacyjne – w przypadku gdy między obserwowanym obiektem, a nami znajdzie się masywne źródło („soczewka”) następuje zakrzywienie promieni świetlnych. Na skutek tego obraz jest nieco przesunięty i zniekształcony.

3) Należy zauważyć, że ciemna energia to NIE jest energia ciemnej materii!

4) Więcej informacji: http://orion.pta.edu.pl/nobel-z-fizyki-za-odkrycie-przyspieszonej-ekspansji-wszechswiata

5) Jasność absolutna to jasność obserwowana, jaką miałby obiekt obserwowany z odległości 10 parseków, przy braku pochłaniania światła w przestrzeni międzygwiezdnej.