

Kosmiczne zmarszczki

Dzięki gwałtownemu rozwojowi technik obserwacyjnych kosmologia wkracza w XXI w. jako nauka eksperymentalna. Panuje powszechne przekonanie, że wiedza o przeszłych i przyszłych losach wszechświata kryje się w wynikach pomiarów, które już wkrótce zostaną przeprowadzone. Odpowiedziawszy jednak na pytanie „jak?“, kosmologom przyjdzie się zmierzyć z pytaniem „dlaczego?”

Stanisław Mrówczyński

Jest rzeczą zaskakującą, że kosmologia jako nauka dostarczająca całościowego opisu wszechświata rozwinęła się dopiero na gruncie ogólnej teorii względności. Już klasyczna mechanika newtonowska pozwalała na przedstawienie takiego opisu, jednak dopiero Einstein podjął zuchwałą próbę uchwycenia natury całego przeogromnego kosmosu za pomocą zwykłych praw fizyki. Wyprowadziwszy równania swojej relatywistycznej teorii grawitacji, Einstein ku własnemu zdumieniu stwierdził, że wszechświat wyłaniający się z tych równań nie jest statyczny, lecz ewoluuje, powoli zmieniając się z upływem czasu. Obraz ten kłócił się z głęboko zakorzenionym przekonaniem, że wszelkie zmiany w kosmosie ograniczone są jedynie do naszego najbliższego sąsiedztwa – układu planetarnego – podczas gdy cała reszta pozostaje niezmienna. Pogląd ten pochodzi zapewne od starogreckich myślicieli ze szkoły eleatów, którzy negowali wszelki ruch jako ułudę zmysłów. Chociaż ich następcy nie byli już tak radykalni, świat starożytny wniósł do świadomości europejskiej przekonanie o niezmienności wszechświata. Chrześcijaństwo tej koncepcji nie zmieniło. Chociaż świat ma swój początek, stworzony został od razu w ostatecznym kształcie i nie podlega ewolucyjnym przemianom.

Odrzucając teorię o zmieniającym się wszechświecie, Einstein dopisał w swych równaniach pewną wielkość zwaną stałą kosmologiczną, dzięki której wszechświat mógł być statyczny. W 1922 r. radziecki fizyk Aleksander Friedman przedstawił, nie przejmując się wątpliwościami Einsteina, całą klasę rozwiązań równań ogólnej teorii względności, zgodnie z którymi wszechświat narodził się w Wielkim Wybuchu, a później rozszerzył się do dzisiejszych rozmiarów. Rozwiązania Friedmana uwzględniają trzy możliwe kosmiczne scenariusze. Jeśli wszechświat zawiera niewiele materii, a dokładniej energii, wówczas rozszerzać się będzie w nieskończoność. Gdy zaś dużo energii wypełnia kosmiczne przestworza, siły grawitacji powstrzymają w pewnym momencie ekspansję wszechświata. Później zacznie się on kurczyć, by zapaść się w nicość. Mamy wreszcie przypadek pośredni, odpowiadający tzw. krytycznej gęstości energii: wszechświat rozszerza się wiecznie, jednak prędkość ekspansji powoli zamiera.

Każdy ze scenariuszy odpowiada innym prawom geometrii. Wszechświat o gęstości krytycznej jest płaski i obowiązują w nim zasady geometrii euklidesowej: proste równoległe nigdy się nie przecinają, a suma kątów trójkąta równa się 180 stopni.

Na przełomie wieku XIX i XX stało się jasne, że Słońce wraz z naszym układem planetarnym należy do większego, stworzonego przez miliardy gwiazd układu, zwanego Mleczną Drogą. Zastosowanie metod fotograficznych pozwoliło dostrzec poszczególne gwiazdy w mgławicach takich, jak widoczne nawet gołym okiem z południowej półkuli Mały i Wielki Obłok Magellana. Jasność gwiazdy, którą obserwujemy z Ziemi, zależy od jej faktycznej, tzw. absolutnej jasności oraz odległości do naszej planety. Im gwiazda jest odleglejsza, tym mniej jej światła do nas dociera. Pani Henrietta Leavitt odkryła w roku 1912 związek pomiędzy jasnością absolutną a okresem zmienności pewnych gwiazd zwanych cefeidami. Jasność takiej gwiazdy staje się coraz większa, gdy wydłuża się jej okres pulsacji. Ponieważ porównanie jasności absolutnej z obserwowaną pozwala określić dystans do odległych gwiazd, cefeidy zyskały miano morskich latarni, wedle których wyznacza się pozycje żeglujących w kosmosie obiektów. Obserwując cefeidy zmierzono odległość do wspomnianych już Wielkiego i Małego Obłoku Magellana. Okazało się, że znajdują się one poza Drogą Mleczną, tworząc oddzielne galaktyki. Wkrótce również inne mgławice zidentyfikowano jako galaktyki zawierające miliardy gwiazd.

Pomiary pokazały, że odległe galaktyki szybko od nas uciekają. Prędkość gwiazd określa się, wykorzystując tzw. efekt Dopplera. Sprawia on, że fala – w tym wypadku światła pochodzącego od gwiazdy – ulega skróceniu, czyli barwa przesuwa się ku fioletowi, gdy źródło fali przybliża się do nas. Fala natomiast wydłuża się – kolor staje się czerwony – kiedy źródło od nas ucieka. Światło gwiazd dalekich galaktyk okazało się mocno przesunięte ku czerwieni, co zinterpretowano jako efekt rozszerzania się wszechświata. Z faktu, że galaktyki oddalają się od nas, nie należy bynajmniej wnosić, iż jesteśmy pępkiem wszechświata. Gdy rośnie ciasto, rodzynki odsuwają się od siebie wzajemnie, a nie zaś tylko od środka placka.

W roku 1929 amerykański astronom Edwin Hubble odkrył, obserwując wiele galaktyk, zdumiewająco prostą prawidłowość: prędkość ucieczki galaktyki jest proporcjonalna do jej odległości. Stała proporcjonalności wiążąca obie wielkości nosi obecnie nazwę stałej Hubble'a. Kosmologiczny model Friedmana orzeka, że jej aktualna wielkość zależy od czasu, jaki upłynął od Wielkiego Wybuchu oraz gęstości energii wypełniającej wszechświat. Zmierzywszy przeto stałą Hubble'a oraz ową gęstość, można

ustalić, ile czasu upłynęło od Wielkiego Wybuchu, można też przewidzieć dalsze losy wszechświata. Wyznaczenie stałej Hubble'a wymaga określenia odległości i prędkości wielu galaktyk. Tę drugą wielkość mierzy się stosunkowo łatwo – dzięki wspomnianemu efektowi Dopplera – natomiast precyzyjne znajdywanie odległości jest dużo trudniejsze. W ostatnich jednak latach opracowano kilka nowych metod pomiaru, więc dokładność wyznaczenia stałej Hubble'a bardzo została poprawiona.

Określenie gęstości energii wypełniającej wszechświat jest bez porównania poważniejszym problemem. Jeśli dodać masę wszystkich widzialnych gwiazd, znaleziona wówczas gęstość energii stanowi mniej niż 1 proc. gęstości krytycznej. Jednak obserwacja ruchu gwiazd wokół środków ciężkości galaktyk, podobnego do ruchu Ziemi dookoła Słońca, wskazuje, że poza materią zawartą w gwiazdach istnieją jej inne, nieświecące, a więc niewidoczne formy. Materię taką nazywamy ciemną; mogą ją tworzyć rozsiane we wszechświecie czarne dziury bądź pewne hipotetyczne cząstki elementarne. Wedle najnowszych ocen materia świecąca i nieświecąca daje razem ok. 30 proc. gęstości krytycznej. Występowanie wspomnianej stałej kosmologicznej w równaniach Einsteina interpretuje się obecnie jako przejaw pewnej szczególnej formy energii rozprzestrzenionej we wszechświecie, zwanej energią próżni. W ostatnich latach udało się ocenić jej wielkość dzięki szczegółowym badaniom tzw. kosmicznego promieniowania tła. Wypełnia ono szczerbnie cały wszechświat, będąc pozostałością po czasach, gdy był on niezwykle gęsty i gorący.

Odkryli je przypadkiem w 1965 r. amerykańscy fizycy Arno Penzias i Robert Wilson jako źródło tajemniczych szumów anteny mikrofalowej, nad którą pracowali. Promieniowanie tła jest niemal doskonale jednorodne, jednak dzięki misji satelity COBE wykryto w 1992 r. małe zaburzenia, które ochrzczono kosmicznymi zmarszczkami. Są one efektem pierwotnych zagęszczeń materii, z których później narodziły się galaktyki. W 2000 r. opublikowano niezwykle precyzyjne wyniki pomiarów promieniowania tła wykonanych za pomocą balonów unoszących się wysoko nad Antarktyką. Wykryto jeszcze drobniejsze zmarszczki, stanowiące echo fal dźwiękowych rozchodzących się w przestworzach młodego jeszcze i bardzo małego wszechświata. Od owego czasu przestrzeń została rozciągnięta na skutek kosmicznej ekspansji, więc wzór, w jaki układają się obecnie zmarszczki, pozwala określić geometrię wszechświata. Pomiaru wskazują, że jest on zupełnie płaski, co oznacza że, jak już wspomniałem, gęstość wypełniającej go energii równa jest wartości krytycznej.

Skoro materia ciemna i świecąca dają ok. 30 proc. tej wartości, to na energię próżni przypada pozostałe 70 proc. Po uwzględnieniu tych wyników, znajomość stałej Hubble'a pozwala wyznaczyć wiek wszechświata. Wedle najnowszych danych wynosi on ok. 13 mld lat. Liczbę tę można skonfrontować z rozważaniami innej zupełnie natury. Na początku był wodór, a cięższe pierwiastki: węgiel, tlen, azot itd., zostały zsyntetyzowane dopiero w gwiazdach, które wypaliwszy się wybuchają wyrzucając w przestrzeń popioły. Życie powstało właśnie z tych popiołów. Badania składu chemicznego gwiazd pozwalają ocenić, jak długo trwał proces wypiekania cięższych pierwiastków. Modele ewolucji gwiazd wskazują, że najstarsze żyją właśnie kilkanaście mld lat.

Wielkość gęstości energii – która gra istotną, lecz nie decydującą rolę przy ocenie wieku wszechświata – całkowicie rozstrzyga o jego przyszłych losach. Obecnie wiemy, że owa gęstość jest bliska krytycznej, ale jej niewielkie odchylenie w jedną lub drugą stronę oznacza wieczną ekspansję bądź zapadnięcie się wszechświata w nicłość. Dlatego tak ważny jest precyzyjny pomiar tej wielkości. Planowane na najbliższe lata satelitarne eksperymenty dostarczą być może już jednoznacznej odpowiedzi. Kosmologia jednak na tym się nie skończy. Gdy będziemy wiedzieli, jaki jest wszechświat, z całą ostrością stanie pytanie: dlaczego jest, jaki jest. Czy nasze istnienie było czystym przypadkiem, czy też od samego początku wpisane było w kosmiczny scenariusz?

Jeśli jesteśmy dziełem przypadku, to był to przypadek wprost niewiarygodnie mało prawdopodobny. Rozważmy choćby kwestię temperatury. W przestworzach kosmosu panuje straszne zimno, temperatura bliska jest zera bezwzględnego –273 stopni Celsjusza. W gwiazdach zaś jest bardzo gorąco, jakies +15 mln stopni. A na Ziemi temperatura waha się w granicach zaledwie 50 stopni wokół zera. Byłoby trochę zimniej albo trochę cieplej i już po nas. Nasza egzystencja wydaje się jeszcze mniej prawdopodobna, gdy analizujemy ewolucję gwiazd i produkcję cięższych pierwiastków. Procesy te, które zadecydowały o istnieniu homo sapiens, istotnie zależą od względnej wielkości sił elektromagnetycznych i jądrowych. Jeśliby tę wielkość nieznacznie zmienić, skład chemiczny obecnego wszechświata byłby zupełnie inny. Zamiast potrzebnego do życia węgla czy tlenu mielibyśmy sam wodór albo wyłącznie bardzo ciężkie pierwiastki. Tak więc nasze życie zawdzięczamy niezwykle szczególnemu doborowi fizycznych parametrów. Do podobnego wniosku prowadzi analiza innych zjawisk – wszechświat osiągnął obecny stan, gdyż liczne wielkości mają ściśle określoną wartość. Wszechświat jest niczym idealnie nastrojony fortepian.

Zdziwienie naszym istnieniem doprowadziło do sformułowania tzw. hipotezy antropicznej. Stwierdza ona, że wszechświat jest, jaki jest, ponieważ w nim istniejemy. Określony zestaw wartości fizycznych parametrów zawdzięczamy więc naszej egzystencji. Hipoteza ta, którą niektórzy uważają za najbardziej podstawowe prawo nauki, zaprzecza całej tradycji nauk przyrodniczych. Zadaniem ich bowiem jest wyjaśnianie zjawisk, w szczególności fenomenu życia, w oparciu o prawa fizyki, tu zaś wywodzimy owe prawa z faktu zaistnienia życia. Pogląd bliższy duchowi nauki zakłada, że precyzyjne strojenie do wynik nieodkrytych jeszcze prawidłowości. Jakaś przyszła szczególna czy dopiero ogólna teoria wszystkiego

zwiąże być może siły jądrowe i elektromagnetyczne i określi względną ich wielkość. Okaże się wtedy, że pogląd o jej dowolności był tylko błędnym wyobrażeniem XX-wiecznych fizyków.

Autor jest fizykiem, pracuje w Instytucie Problemów Jądrowych w Warszawie oraz w Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach.