

Nasze miejsce we Wszechświecie*

John D. Barrow

Centre for Mathematical Sciences, Cambridge University, Wlk. Brytania

Our place in the Universe

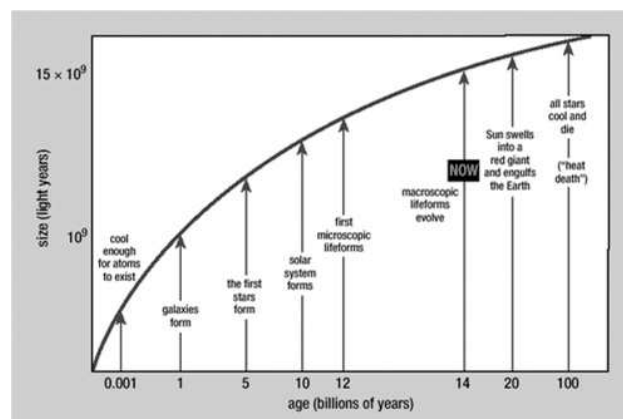
Wszechświat coraz większy

Najbardziej dramatyczną konsekwencją ogólnej teorii względności Einsteina było przewidywanie, że cały Wszechświat powinien się rozszerzać. Chodzi tu o to, że gdybyśmy jutro mogli zmierzyć odległość dwóch dalekich gromad galaktyk na niebie, to byłaby ona większa od odległości zmierzonej dzisiaj. Przy tym jednak nie stajemy się więksi ani my sami, ani Ziemia, ani nawet nasza Galaktyka. Struktury te nie powiększają swoich rozmiarów, ponieważ są związane wewnątrz przez mocniejsze siły lokalne o naturze bądź chemicznej, bądź grawitacyjnej. Oznaki rozszerzania się Wszechświata zauważymy dopiero po przejściu do skal długości większych od rozmiarów gromad galaktyk.

Ekspansja oznacza, że średnio warunki fizyczne we Wszechświecie ciągle się zmieniają. Temperatura i gęstość materii były większe w przeszłości niż dziś. Fizycy i astronomowie stopniowo poukładali z kawałków zadowolająco spójny obraz historii Wszechświata podczas jego ekspansji.

Wygląda on tak. Żyjemy ok. 13,7 miliarda lat od chwili, w której prawdopodobnie rozpoczęła się ekspansja Wszechświata. Rzecz zadziwiająca – umiemy przedstawić dobrze odpowiadającą obserwacjom rekonstrukcję historii wczesnego Wszechświata od chwili po ok. 1 sekundy od jego narodzin. W tamtym czasie gęstość materii była już tylko trochę większa od gęstości wody, zatem warunki panujące wówczas we Wszechświecie były dalekie od ekstremalnych i znana nam fizyka wystarcza do opisu tego, co się wówczas działo. Wszechświat w czasie od 1 sekundy do 3 minut od Wielkiego Wybuchu zachowywał się jak ogromny reaktor termojądrowy, wytwarzający pierwiastki lekkie: deuter, hel i lit, których ilości miały pozostać do dnia dzisiejszego w ówczesnych proporcjach. Okazuje się, że zgadzają się one prawie idealnie z proporcjami przewidywanymi przez nasze współczesne teorie wczesnego Wszechświata. Obserwujemy również wokół nas oziębione morze mikrofal – to samo, które pojawiło się, gdy Wszechświat był dużo gorętszy i gęstszy niż dzisiaj. Wszystkie te konkretne obserwacje astronomiczne

pozwalają potwierdzić spójność naszego modelu Wszechświata, gdy odtwarzamy go wstecz, aż do ok. 1 sekundy po chwili jego powstania.



Rys. 1. ??????

Ten ogólny scenariusz ekspansji Wszechświata od gorącego stanu początkowego do chłodniejszego stanu dzisiejszego zwykle nazywany jest modelem „Wielkiego Wybuchu” i jest akceptowany, jako wersja robocza ewolucji Wszechświata, przez niemal wszystkich kosmologów. Wiele aspektów ewolucji Wszechświata jest jednak wciąż niepewnych, więc aktywnie bada się kilka wariantów modeli Wielkiego Wybuchu, tak by wybrać spośród nich jak najlepszy opis tworzenia się galaktyk w trakcie ewolucji Wszechświata. Wszystkie warianty są jednak zgodne co do tego, iż Wszechświat dzisiaj się rozszerza tak jak przez ok. 14 miliardów lat od Wielkiego Wybuchu, choć nie zgadzają się co do szczegółów jego bardzo wczesnej historii oraz skomplikowanej kolejności zdarzeń, które doprowadziły do powstania planet, gwiazd i galaktyk.

Wielki i stary, ciemny i zimny

Jedną z ciekawych cech Wszechświata jest fakt, że tworzy on warunki, które są na pierwszy rzut oka tak wro-

*Na podstawie wykładu wygłoszonego 10 września 2007 r. podczas XXXIX Zjazdu Fizyków Polskich w Szczecinie z okazji nadania godności doktora h. c. Uniwersytetu Szczecińskiego (za zgodą Autora i Biura Promocji USz).

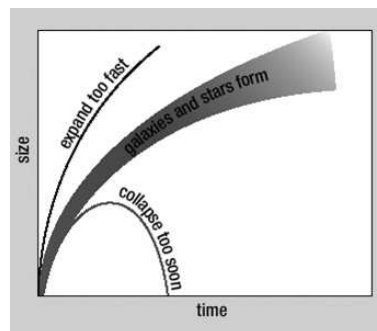
gie powstaniu życia. Jednak pozory mogą mylić. Wiemy, że Wszechświat się rozszerza, a zatem jego ogromne rozmiary są też konsekwencją jego ogromnego wieku. A każdy wszechświat zbudowany ze złożonych struktur musi być wystarczająco stary, aby mogły się w nim wytworzyć gwiazdy oraz pierwiastki chemiczne, na których opiera się jego złożoność. Wymaga ona pojawienia się pierwiastków cięższych niż wodór i hel, które mogły być wytworzone w czasie pierwszych trzech minut po Wielkim Wybuchu. Cięższe, interesujące z punktu widzenia biochemii pierwiastki, takie jak węgiel, powstają z wodoru i helu w reakcjach jądrowych w gwiazdach. Gdy dobiega końca życie gwiazd, te biochemiczne pierwiastki są rozpraszane w przestrzeni kosmicznej, aby następnie znaleźć się na planetach, a w końcu pojawić się w nas – ludziach.

Ten proces jądrowej alchemii jest długi i powolny, trwa zwykle miliardy lat. Zatem rozszerzający się Wszechświat, który zawiera „obserwatorów”, musi liczyć miliardy lat i w związku z tym mieć rozmiary miliardów lat świetlnych. Są to warunki konieczne, aby we Wszechświecie możliwe było życie. Wynikają stąd dalsze konsekwencje. Ogromne rozmiary zamieszkalnego Wszechświata sprawiają, że ma on bardzo niewielką gęstość średnią, a gwiazdy i galaktyki są od siebie bardzo oddalone. Przyczółki życia są od siebie z dużym prawdopodobieństwem oddalone o ogromne – astronomiczne – odległości, co powoduje, że rozwój cywilizacyjny następuje w izolacji od innych przyczółków co najmniej do momentu, w którym rozwój techniczny osiągnie bardzo wysoki poziom. Szybka ekspansja Wszechświata powoduje również, że jest on bardzo zimny. To z kolei oznacza, że obserwowane przez nas nocne niebo jest ciemne, bo jest zbyt mało energii we Wszechświecie, aby uczynić je jasnym (jest to związane z tzw. paradoksem Olbersa – w statycznym nieskończonym Wszechświecie w dowolnym kierunku na niebie zawsze leży jakaś gwiazda, a więc niebo świeci wielkim blaskiem – tłum.). Wobec tego wszechświaty, w których istnieją odpowiednie warunki do życia, są wielkie i stare oraz ciemne i zimne. Można tu uczynić uwagę, że te aspekty wszechświatów (które też powinny być uniwersalne dla obserwatorów znajdujących się w dowolnym miejscu) odgrywają znaczącą rolę w kształtowaniu się naszych religijnych i filozoficznych odczuć dotyczących Wszechświata i naszego w nim miejsca. Przy tym znowu warto podkreślić, jak złudne mogą być to cechy. Wielu filozofów odwoływało się do ogromu i rozprzoności Wszechświata jako dowodu na jego zasadniczo nieteleologiczny charakter. Odkrycie ekspansji Wszechświata pokazuje jednak, że jak subtelnym zagadnieniem mamy tutaj do czynienia. Otóż te cechy Wszechświata, które niektórym komentatorom wydawały się w oczywisty sposób sprzeczne z jego interpretacją jako miejsca przyjaznego życiu, są, jak się okazuje, konieczne do wytworzenia wszelkiej złożoności występującej w tym Wszechświecie.

¹W oryginale: Goldilocks universes, w nawiązaniu do znanej XIX-wiecznej angielskiej bajki „Goldilocks and the Three Bears” (Złotowłosa i trzy misie) o dziewczynce, która lubiła wybierać rzeczy „w sam raz” (przyp. tłum.)

Po prostu inflacja

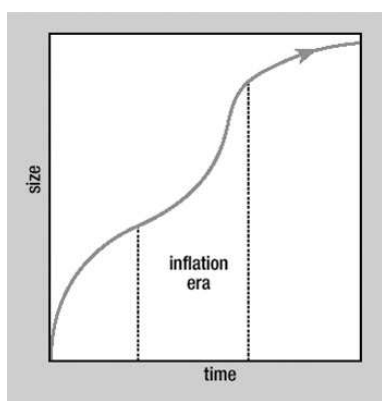
Ekspansja Wszechświata jest delikatnie zrównoważona, bardzo bliska pewnej linii krytycznej oddzielającej wszechświaty, które rozszerzają się wystarczająco szybko, aby trwało to wiecznie, od wszechświatów, które w przyszłości są w stanie skurczyć się z powrotem w kataklizmie zwanym Wielkim Krachem. Nasz dzisiejszy Wszechświat znajduje się w istocie rzeczy tak blisko tej linii krytycznej, że nasze obserwacje prawie nie są w stanie określić, jaka jest prognoza jego ewolucji. Jednakże to właśnie ta bliskość ekspansji do linii krytycznej stanowi wielką zagadkę – a priori wydaje się mało prawdopodobne, aby ten stan rzeczy pojawił się przypadkowo. I znów nie jest to całkowitą niespodzianką: wszechświaty, które rozszerzają się za szybko, nie są w stanie zebrać wystarczająco dużo materiału do wytworzenia galaktyk i gwiazd, a zatem nie mogą wyprodukować składników złożonego życia. Natomiast wszechświaty, które rozszerzają się zbyt wolno, kończą swoją ewolucję, kurcząc się w czasie krótszym niż miliardy lat potrzebne do powstania gwiazd. Tylko wszechświaty znajdujące się blisko linii krytycznej mogą żyć wystarczająco długo i rozszerzać się wystarczająco łagodnie, aby wytworzyły się w nich gwiazdy i planety. Możemy istnieć tylko w jednym z optymalnych wszechświatów¹, które nie rozszerzają ani zbyt szybko, ani zbyt wolno.



Rys. 2. ??????

Od roku 1980 istnieje interesujące wyjaśnienie bliskości dzisiejszej ewolucji Wszechświata względem linii krytycznej oraz jego ogromnych rozmiarów. Są to cechy, które można wyjaśnić za pomocą ciągu zdarzeń, mogącego z dużym prawdopodobieństwem wystąpić we wszechświecie dowolnego typu – nie ma tu znaczenia, jak zaczął się rozszerzać. Owa teoria kosmologicznej „inflacji” bardzo wczesnego wszechświata, która wprowadza niewielką głośność do prostego obrazu rozszerzającego się wszechświata – krótki okres przyspieszonej ekspansji pojawiającej się bardzo wcześnie w jego historii. Ten krótki inflacyjny epizod wydaje się nieszkodliwy dla ogólnego obrazu ekspansji, potrafi jednak rozwiązać wiele znanych wcześniej problemów kosmologii. Zamierzchły epizod przy-

spiesznej ekspansji pozwala nam zrozumieć, dlaczego nasz obserwowalny Wszechświat rozszerza się tak blisko linii krytycznej oddzielającej wszechświaty ulegające wiecznej ekspansji od wszechświatów, które kiedyś zaczynałyby się kurczyć. Fakt, że po ok. 14 miliardach lat ekspansji wciąż znajdujemy się tak blisko linii krytycznej, jest bardzo zdumiewający. Wszelkie odchylenie od położenia dokładnie na linii krytycznej zwiększałoby się jednostajnie z upływem czasu, zatem ekspansja musiała się zacząć niezwykle blisko tej linii, skoro dziś wciąż znajduje się w tak niebezpiecznej jej bliskości. Jeśli jednak Wszechświat doświadczył przyspieszenia ekspansji („inflacji”) przez krótki okres, to ewoluuje bardzo blisko linii krytycznej – tak blisko, że dzisiaj wciąż musi się znajdować „kuszaco” blisko niej.



Rys. 3. ??????

W rzeczywistości, niewielki obszar, który urósł, rozdymany w tym krótkim okresie inflacji, do całego naszego obserwowalnego Wszechświata, nie mógł być na początku całkowicie jednorodny. Było to po prostu niemożliwe. Zawsze, w każdym miejscu przestrzeni, musiały istnieć niewielkie kwantowe fluktuacje statystyczne gęstości materii. Zdziwiające, że te kwantowe fluktuacje zostały „rozciągnięte” w okresie inflacji do ogromnych, astronomicznych rozmiarów i dostrzeżone ostatnimi laty przez satelity COBE oraz WMAP. Zaobserwowana dotąd struktura tych fluktuacji zgadza się prawie idealnie ze strukturą przewidywaną przez teorię inflacyjną. Zaczyna się zatem wydawać, że mamy bardzo mocny dowód obserwacyjny na to, że inflacja faktycznie zdarzyła się ok. 13,7 miliarda lat temu. W nadchodzących paru latach pojawi się więcej danych obserwacyjnych z trwającej misji WMAP oraz z serii planowanych eksperymentów uzupełniających z użyciem balonów oraz obserwacji z powierzchni Ziemi. W kolejnych latach Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) planuje umieszczenie na orbicie następnych misji satelitarnych o wysokiej dokładności.

Wieczna i chaotyczna inflacja

Poza granicą niewielkiego płata pierwotnej przestrzeni, który został rozdęty do obszaru obejmującego nasz cały obserwowany dzisiaj Wszechświat, leży wiele (być

może nieskończenie wiele) innych takich płatów, które mogły przejść przez fazę inflacyjną (być może o różnym nasileniu) i utworzyć rozległe rejony Wszechświata rozciągające się poza nasz dziś obserwowalny horyzont kosmologiczny (czyli odległość, z której światło wysłane na początku ewolucji Wszechświata zdążyło do nas dotrzeć, biegnąc z największą możliwą prędkością c ; światło wysłane z obszaru poza horyzontem kosmologicznym jeszcze nie zdążyło do nas dotrzeć – tłum.). Prowadzi to do wniosku, że nasz dzisiejszy Wszechświat ma bardzo skomplikowaną strukturę przestrzenną oraz że warunki fizyczne obserwowane w obrębie naszego horyzontu kosmologicznego, którego rozmiar wynosi ok. 15 miliardów lat świetlnych, z bardzo małym prawdopodobieństwem są podobne do warunków panujących w obszarach poza nim. Ten skomplikowany nowy obraz Wszechświata uzyskał nazwę „chaotycznej inflacji”.

Później Alex Vilenkin i Andrei Linde zdali sobie sprawę, że sytuacja jest jeszcze bardziej skomplikowana. Jeśli dany obszar przestrzeni ulega inflacji, to w ogólności pojawiają się w nim małe podobzary, które także jej ulegają. Ten proces może być kontynuowany w nieskończoność – w rozszerzających się obszarach tworzą się dalsze podobzary, które także ulegają inflacji itd., *ad infinitum*. Proces ten nie ma końca i dlatego został nazwany „wieczną” lub też „samoreprodukującą się” inflacją. Sugeruje to, że historia i geografia naszego Wszechświata jest o wiele bardziej skomplikowana niż mogłyby to sugerować obserwacje niewielkiego obszaru, który zamieszkujemy. Poza tym jeśli Wszechświat nie ma końca w przyszłości, to dlaczego nie trwał wiecznie w przeszłości? Do tej pory nie wiadomo jednak, czy proces samoreprodukcji Wszechświata wymaga początku oraz jakie jest prawdopodobieństwo, że miniwszechświaty, które nieustannie pojawiają się w procesie samoreprodukcji, są w stanie dopuścić istnienie w nich życia.

Czy Wszechświat miał początek?

Wielu ludzi przyzwyczało się do myśli, że ekspansja Wszechświata oznacza, że miał on początek, oraz że odtwarzając proces ekspansji, moglibyśmy dokładnie oznaczyć tę chwilę w przeszłości. W latach 1967–75 ten pogląd dominował wśród czynnych kosmologów. Roger Penrose, Stephen Hawking, George Ellis i inni potrafili przełożyć to intuicyjne odczucie na sekwencję ścisłych twierdzeń matematycznych, które stały się znane pod nazwą „twierdzeń o osobliwościach”. Motywowani danymi doświadczalnymi, poczynili oni wiele założeń dotyczących natury Wszechświata oraz oddziaływania grawitacyjnego, a potem wywnioskowali, że jeśli ich założenia są prawdziwe, to musiał istnieć początek czasu. Historii Wszechświata nie można zatem odtwarzać w nieskończoność. Musi w końcu ona osiągnąć „osobliwość”, w której pojęcia czasu i przestrzeni przestają istnieć. Właśnie to mamy na myśli, gdy mówimy, że był jakiś „początek”. Należy podkreślić, że jest to twierdzenie, a nie teoria. Jeśli zatem założenia twierdzenia są spełnione, to wnioski wynikają jedynie z logicznego rozumowania.

W końcu lat sześćdziesiątych kluczowe założenie twierzeń o osobliwościach, że grawitacja jest zawsze siłą przyciągającą, wydawało się jednak bezspornie prawdziwe, podobnie jak rozpowszechnione przekonanie, że rozszerzający się Wszechświat miał swój początek. Pogląd ten jest bardzo dziwny, ale jego dziwność jest mniejsza dla tych z nas, którzy wyrosli w kulturze Zachodu związanej z judeochrześcijańską tradycją religijną głoszącą stworzenie Wszechświata z niczego. Alternatywna kosmologia stanu stacjonarnego², bez początku ekspansji, przetrwała nieco ponad jedną dekadę, nim została odrzucona po odkryciu mikrofalowego promieniowania tła oraz lekkich pierwiastków powstałych po Wielkim Wybuchu.

Rzecz ciekawa – ta silna wiara w „oczywistą prawdę” o przyciągającym charakterze oddziaływania grawitacyjnego została obalona na początku lat osiemdziesiątych XX w. Otóż fizycy cząstek elementarnych odkryli, że ich nowe teorie przewidują istnienie wielu nowych rodzajów materii, które mogą ulegać antygravitacji. Co więcej, całe zjawisko inflacji opierało się na właśnie takiej materii. Inflacja i jej wszystkie udane wyjaśnienia struktury Wszechświata wymagały, aby oddziaływanie grawitacyjne stało się w pewnym momencie odpychające. Dzisiaj stwierdzenie, że grawitacja nie zawsze jest przyciągająca, kosmologowie uważają za całkiem rozsądne. Bez względu na to, jak krótko trwało takie oddziaływanie odpychające, w jego wyniku twierdzenia o osobliwościach już nie mogą nam nic powiedzieć o przeszłości Wszechświata. Założenia pięknych twierzeń Penrose’a, Hawkinga i Ellisa nie są, jak się okazuje, spełnione w rzeczywistości. Nie oznacza to jednak, że nie było początku Wszechświata, a jedynie tyle, że nie ma odpowiednich twierzeń. Mógł być jakiś początek, ale również mogło go nie być.

Scenariusz wiecznej inflacji wprowadza nową możliwość do rozważań o problemie początku Wszechświata. Mianowicie, może istnieć „multiświat” zawierający całe morze wszechświatów, każdy o zasadniczo różnych własnościach fizycznych. Teoria wiecznej inflacji prowadzi nas do oczekiwania, że każdy z wszechświatów składających się na multiświat charakteryzowałby się chwilą, od której rozpoczynałby swoją ekspansję jako fluktuacja kwantowa – czyli po prostu „początkiem” – ale mógłby równie dobrze mieć, jak nie mieć końca. Jednakże cały proces tworzenia wszechświatów w ramach multiświata niekoniecznie musiałby mieć początek i koniec. Zatem moglibyśmy stwierdzić, że nasz obserwowalny „Wszechświat” miał początek, natomiast cały Wszechświat go nie miał.

Dodatkowe wymiary

Na początku swojej kariery naukowej wielki niemiecki filozof Immanuel Kant postawił interesujące pytanie: „dlaczego przestrzeń ma trzy wymiary?”. Kant uważał bardzo znaną rzecz: newtonowskie prawo gra-

witacji mówiące o tym, że siła jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między przyciągającymi się ciałami, jest ściśle związane z faktem, że przestrzeń ma trzy wymiary. Gdyby przestrzeń miała cztery wymiary, to siła byłaby odwrotnie proporcjonalna do trzeciej potęgi odległości ciał. W ogólności, N -wymiarowy wszechświat wprowadzałby siły oddziaływania grawitacyjnego oraz elektromagnetycznego odwrotnie proporcjonalne do odległości w potęgę $N - 1$. W naszym trójwymiarowym świecie siły te są więc odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości. Zatem prawa fizyki zależą od liczby wymiarów przestrzeni, w której obowiązują.

Własności wszechświatów o innej liczbie wymiarów zarówno przestrzennych jak i czasowych były badane przez licznych naukowców. Możemy założyć, że prawa Przyrody mają taką samą postać, ale dopuścić liczbę wymiarów przestrzennych zmieniającą się w dowolnym zakresie. Gdybyśmy chcieli zachować trwałe atomy oraz stabilne orbity ciał niebieskich, np. planet krążących wokół swoich gwiazd, to musielibyśmy wykluczyć istnienie więcej niż trzech wymiarów przestrzennych. Nic nie jest w stanie utrzymać się razem w takich światach o więcej niż trzech wymiarach: siły oddziaływania zmniejszają się wraz z odległością zbyt szybko. Takie światy nie zawierają żadnych struktur. Z kolei światy jedno- lub dwuwymiarowe nie dopuszczają pola grawitacyjnego, a ponadto są zbyt proste, aby mogło w nich rozwinąć się życie. Zatem trójwymiarowe światy są bardzo szczególne. Nie powinniśmy być zaskoczeni tym, że żyjemy w trzech wymiarach przestrzennych. W przestrzeniach o większej lub mniejszej liczbie wymiarów nie mogłoby istnieć życie.

Teorie strun są obecnie jedynymi teoriami fizycznymi, które nie prowadzą do wewnętrznych sprzeczności lub przewidywań, że wielkości obserwowalne mają bezsensowne, nieskończone wartości w momencie, gdy włączy się grawitację do schematu unifikacji pozostałych oddziaływań fundamentalnych w przyrodzie. Jednak teorie te wymagają większej liczby wymiarów przestrzennych niż tylko te trzy, których doświadczamy w życiu codziennym. Ponieważ dostrzegamy jedynie trzy wymiary, to wniosek z tego jest taki, że albo teorie te są błędne, albo pojęcie wymiaru jest czymś innym niż zwykle sądzimy, albo że wiele z tych wymiarów przestrzennych jest gdzieś ukrytych. Chociaż każda z dwóch pierwszych opcji może okazać się prawdziwa, to jednak powszechnie się zakłada, że to trzecia stanowi rozwiązanie zagadki. Wśród wymiarów przestrzeni nie ma demokracji: trzy z nich mają duże rozmiary, natomiast pozostałe są bardzo małe i do tego zwinięte, tak że nie możemy ich bezpośrednio zaobserwować. Dzięki temu życie może współistnieć z więcej niż trzema wymiarami, bo „dodatkowe” wymiary są zbyt małe, aby siły oddziaływania mogły „zauważyć” ich wpływ. Życie istnieje zatem tylko w trzech dużych wymiarach. Musimy znaleźć proces fizyczny, który pozwolił rozciągnąć

²Kosmologia stanu stacjonarnego dominowała w latach pięćdziesiątych XX w. Zakładała ona, że wprawdzie Wszechświat się rozszerza, ale przez cały czas zachowuje stałą gęstość, bo następuje ciągły proces kreacji materii w „rozrzedzonych” miejscach przestrzeni (przyp. tłum.).

się trzem (i tylko trzem) spośród pełnej liczby wymiarów, a pozostałe wymiary tak uwięzić w niewielkiej skali długości tak, aby ich wpływ był dla nas tak dalece niedostrzegalny. Jak to się stało, że tylko trzy z tych wymiarów tak się zwiększyły? Dziś odpowiedź na to pytanie nie jest znana. Przyczyna może być zupełnie losowa – wybór trzech dużych wymiarów wcale nie musiał być „zaprogramowany” w prawach fizyki. Nie jest też wykluczone, że istnieje głęboka przyczyna, dla której trzy i tylko trzy wymiary mogły powiększyć się do obecnych rozmiarów.

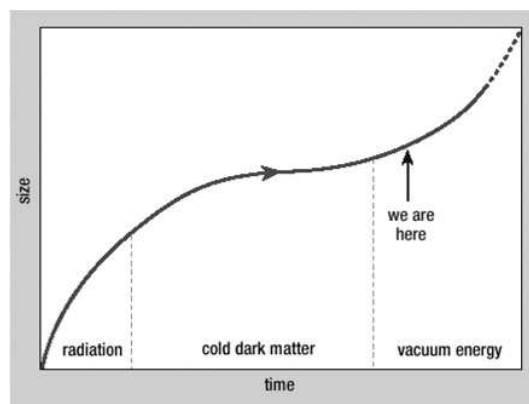
Jeśli dodatkowe wymiary istnieją i zmieniają swój rozmiar, rozszerzając się tak samo jak nasza trójwymiarowa część Wszechświata, to można byłoby to ujawnić poprzez obserwację analogicznych zmian naszych „stałych” przyrody. Prawdziwe stałe żyją w świecie o wszystkich wymiarach. Trójwymiarowe „rzuty” tych stałych, które potrafimy obserwować, mogą się zmieniać bez zmiany prawdziwych, pełnowymiarowych stałych.

Zmienne „stałe”

Uświadomienie sobie, że stałe przyrody obserwowane w trójwymiarowej przestrzeni mogą nie być fundamentalne, tj. mogą nie być naprawdę stałe, spowodowało renesans zainteresowania sprawdzeniem takiej możliwości poprzez bardzo precyzyjne obserwacje astronomiczne. Ostatnimi laty John Webb, Michael Murphy, Victor Flambaum, Vladimir Dzuba, Chris Churchill, Jason Prochaska, Art Wolfe oraz ja zastosowaliśmy nową technikę analizy światła odległych kwazarów. Obserwowaliśmy odstęp między liniami widmowymi związanymi z absorpcją światła kwazarów przez różne pierwiastki chemiczne w obłokach pyłu znajdujących się między kwazarami a Ziemią. Odstępy te są bardzo czułe na zmianę wartości jednej ze stałych przyrody, tzw. stałej struktury subtelnej, w obłokach znajdujących się w odległości mierzonej określonym przesunięciem ku czerwieni. Porównując te odstęp dla światła kwazarów oraz dla światła tego samego typu obserwowanego w laboratorium na Ziemi, otrzymujemy informację, czy stała ta mogła zmienić wartość w ciągu 12 miliardów lat. Ta metoda została już zastosowana do 147 kwazarów. Wyniki zebrane oraz przeanalizowane przez dwa lata okazały się nieoczekiwane i potencjalnie doniosłe. Znaleźliśmy stałą i znaczącą różnicę odstępów linii widmowych pochodzących z przeszłości i linii mierzonych dziś w laboratorium. Skomplikowany „odcisk palców” przesunięć zgadza się z oczekiwanym, jeśli przyjmujemy, że wartość stałej struktury subtelnej była mniejsza o ok. 6 części na milion w chwili, gdy zostało wysłane światło kwazarów. Astronomowie przygotowują obecnie wiele innych eksperymentów, by sprawdzić, czy ta – wyglądająca kusząco – zmiana jednej z podstawowych „stałych” przyrody jest efektem rzeczywistym, czy też wynikiem jakiegoś niedostrzeżonego błędu w procesie zbierania danych obserwacyjnych.

Uciekający Wszechświat

Ostatnią i najbardziej zaskakującą tajemnicą Wszechświata, ujawnioną dzięki nowym teleskopom, jest fakt, że



Rys. 4. ??????

jego ekspansja nabrała kilka miliardów lat temu przyspieszenia, które utrzymuje się do dziś, tak jakby znów zachodziła inflacja. Wszechświat najwyraźniej zawiera ok. 70 procent energii w formie ciemnej, wywołującej efekt grawitacyjnego odpychania. (Nazwa „ciemna energia” bierze się stąd, że ta forma materii nie świeci, a jej natura nie jest w pełni znana. Istnieje też określenie „ciemna materia” (nie jest to ciemna energia) – jest to materia, która nie świeci, ale jej natura jest znana. Formalnie w teorii Einsteina efekt grawitacyjnego odpychania odpowiada wystąpieniu ujemnego ciśnienia – tłum.). Efekt odpychania dominuje we Wszechświecie nad efektem przyciągania grawitacyjnego. Sądzimy nawet, że w jakimś stopniu rozumiemy, czym jest ta „ciemna energia”. Jest to tzw. energia próżni kwantowej we Wszechświecie – jego nieredukowalna do zera energia minimalna. Nic we Wszechświecie nie może spowodować, aby jego energia zmniejszyła się do niższego poziomu. Nikt nie oczekuje, abyśmy mogli tę energię zaobserwować. Dlaczego miałaby ona stać się dostrzegalna właśnie w tym niskowym okresie historii kosmosu, gdy możliwe jest życie? Dlaczego jest jej właśnie tyle? Nikt tego nie wie. Wszystkie obliczenia wskazują, że jej ilość powinna być oszałamiająco – 10^{120} razy – większa od obserwowanej. A przecież gdyby ilość tej energii była zaledwie 10 razy mniejsza od tej ogromnej liczby, to ani galaktyki, ani gwiazdy, ani życie nie mogłyby istnieć. Nasz Wszechświat kroczy doprawdy niesłychanie wąską ścieżką!

Tłumaczył Mariusz Dąbrowski
Instytut Fizyki
Uniwersytet Szczeciński