

Początek Wszechświata – najwspanialszy eksperyment fizyczny

Krzysztof A. Meissner
Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

Grzegorz Wrochna
Instytut Problemów Jądrowych im. A.Soltana, 05-400 Otwock-Świerk

Streszczenie

Od momentu zastosowania równań Einsteina do całego Wszechświata kosmologia stała się dobrze ugruntowaną dyscypliną nauk przyrodniczych. Pierwszy pomiar prędkości rozbiegania się galaktyk nadał tej dyscyplinie charakter eksperymentalny. Pomiar promieniowania tła kosmicznego, określanie częstości występowania pierwiastków, badanie struktury galaktyk w skalach miliardów lat świetlnych – to już rutynowe narzędzia, które pozwalają naukowcom precyzyjnie mierzyć własności wczesnego Wszechświata. Znałe prawa fizyki pozwalają nam ekstrapolować ten obraz aż do bilionowych części sekundy od tzw. Wielkiego Wybuchu. W laboratoriach potrafimy już odtwarzać warunki, jakie wtedy panowały, a opis teoretyczny sięga jeszcze dalej ...

Okazuje się, że cofając się w czasie wydarzenia biegają coraz szybciej. Kolejne epoki trwają 13 mld lat, 200 mln lat, 380 tys. lat, 3 minuty, miliardową sekundy, a w każdej dzieje się tyle co w poprzedniej. Ile jeszcze takich epok odkryjemy? Czy ta hierarchia ma kres? Niektóre rozważania teoretyczne sugerują, że zostało jeszcze tylko 2-3 kroki, ale w tym ostatnim pojęcie czasu traci swój sens. Fundamentalne pytanie czy Wszechświat jest odwieczny czy też miał określony początek może mieć trzecią odpowiedź: Wszechświat ma skończony i dobrze już nam znany wiek, ale jego początek wymyka nam się w ciągu kolejnych, coraz krótszych epok, gdzie samo pojęcie początku traci sens.

Wstęp

Pytanie o początek Wszechświata niegdyś można było dyskutować jedynie na gruncie filozofii czy teologii. Samo pojęcie Wszechświata było pojęciem bardziej filozoficznym niż fizycznym. Dziś potrafimy z kilkuprocentową dokładnością określić wiek Wszechświata, badać w laboratorium warunki jakie panowały w ułamku sekundy od jego zaistnienia i na podstawie współczesnych teorii odtworzyć jego ewolucję aż do dnia dzisiejszego. Porównując przewidywania teorii z obserwacjami możemy testować najbardziej podstawowe prawa fizyki. Dlatego początek Wszechświata i jego ewolucja oglądane oczami fizyka, to najwspanialszy eksperyment jaki można przeprowadzić.

Kamienie milowe kosmologii

Kopernik - 1543

Do czasów Kopernika pojęcie Wszechświata w zasadzie nie istniało. Wszystko co w sensie materialnym istniało poza Ziemią to otaczające ją ciała niebieskie. Odkrycie Kopernika przyniosło zasadniczą zmianę perspektywy. Ziemia przestała być centrum, nie tylko geometrycznym. Stała się jednym z wielu ciał niebieskich. Kosmos przestał być tylko otoczeniem Ziemi i awansował do rangi Wszechświata rozumianego jako przestrzeń zawierająca ciała niebieskie – w tym Ziemię.

Einstein – 1915

Ogólna teoria względności Einsteina nie tylko dostarczyła równań opisujących oddziaływania grawitacyjne, ale w sposób zasadniczy zmieniła nasze rozumienie grawitacji w porównaniu z opisem Newtona. Okazało się, że pole grawitacyjne może deformować samą czasoprzestrzeń. Pod wpływem grawitacji może się ona zakrzywiać, rozszerzać i kurczyć. Czasoprzestrzeń, dotychczas będąca tylko areną zjawisk, sama stała się jednym z aktorów. Dzięki teorii Einsteina możliwe stało się opisywanie Wszechświata jako całości. Wszechświat przestał być kontenerem a stał się obiektem.

Einstein już w roku 1916 stworzył model Wszechświata, ale założył, że musi to być model statyczny. Aby to osiągnąć, musiał do swoich równań dopisać człon nazwany stałą kosmologiczną. Friedman w 1922 r. rozwiązał równania Einsteina opisujące Wszechświat jednorodny i izotropowy, wypełniony materią i promieniowaniem, ale bez stałej kosmologicznej. Rozwiązania Friedmana równań Einsteina wskazywały, że Wszechświat musi się albo rozszerzać, albo kurczyć. Rozwiązania te, jak się wkrótce okazało, nie tylko bardzo dobrze opisują Wszechświat, który teraz obserwujemy, ale również Wszechświat od najwcześniejszych chwil, kiedy można stosować teorię Einsteina. Z

pewnością istnieje taki moment, że dla chwil wcześniejszych teorii tej stosować nie można. Jednak sam fakt pokazania możliwości opisanego ewolucji Wszechświata równaniami, to jeden z większych przełomów w historii ludzkiej myśli. Były to narodziny współczesnej kosmologii, która z dziedziny czysto spekulatywnej stała się działem fizyki teoretycznej.

Hubble – 1929

Pomiary prędkości odległych galaktyk przyniosły zdumiewający wynik. Im dalej od nas znajduje się galaktyka z tym większą prędkością od nas się oddala. Einstein długo nie mógł uwierzyć w ten wynik, ale w końcu musiał przyznać, że Wszechświat się rozszerza, czyli jest opisywany równaniami Friedmana, a nie jego modelem. Teoria stanęła w konfrontacji z doświadczeniem. Kosmologia stała się nauką eksperymentalną.

Ewolucja Wszechświata

Późniejsze odkrycia pozwoliły na zrekonstruowanie ewolucji Wszechświata wstecz, aż do bilionowej części sekundy. Kolejne wydarzenia przedstawia Tabela 1. We współczesnych eksperymentach dochodzimy do warunków jakie panowały we Wszechświecie w bilionowej części sekundy (10^{-12} s). Dalej sięgają już tylko spekulacje teoretyczne, jednak mające bardzo solidne podstawy - ogólna teoria względności opisuje świat aż do granicy Plancka wynoszącej 10^{-42} s i opis ten nie zależy od (nieznanego) składu cząstek tak długo jak długo Wszechświat może być traktowany jako jednorodny, izotropowy i zdominowany przez promieniowanie. Przy energii Plancka (czyli w czasie 10^{-42} s) grawitacja zaczyna być teorią silnie oddziałującą, a z pewnością kwantową i wydaje się, że pojęcia czasu i przestrzeni przestają mieć sens. Erę Plancka można więc traktować jako narodziny czasoprzestrzeni. Zamiast czterech znanych nam oddziaływań fundamentalnych: grawitacyjnych, elektromagnetycznych, oraz słabych i silnych, Wszechświat opisuje nieznaną nam jeszcze teoria. Po erze Plancka grawitacja staje się znacznie słabsza niż inne oddziaływania i może być opisywana klasycznie za pomocą równań Einsteina. Nie znamy szczegółów tego co się wtedy działo. Jedną z popularniejszych hipotez jest teoria inflacji, która przewiduje, że przez krótki czas Wszechświat był zdominowany przez stałą kosmologiczną i powiększył swoje rozmiary ponad 10^{30} razy! Hipoteza ta tłumaczy dobrze wiele obserwowanych faktów, ale nie można jej jeszcze uznać za jednoznacznie potwierdzoną. Jedno wiemy prawie na pewno: po tej epoce cały obserwowany dziś przez nas Wszechświat mieścił się w kuli o średnicy 3m, ale z powodu rozszerzania się trzeba było 14 mld lat by do obserwatora w środku tej kuli (czyli do nas) dotarło światło z jej brzegu.

Tabela 1. Ewolucja Wszechświata

| czas | energia | temperatura | wydarzenia |
|--------------|-----------------------|-------------|---|
| 13.7 mld | 3×10^{-4} eV | 3 K | Pojawia się człowiek |
| 9.1 mld lat | 3×10^{-4} eV | 3 K | Powstaje Słońce i Ziemia |
| 200 mln lat | 3×10^{-3} eV | 30 K | Początek powstawania galaktyk |
| 380 000 lat | 0.3 eV | 3000 K | Rekombinacja jąder atomowych i elektronów w obojętne atomy; początek dominacji materii |
| 1 s - 3 min | 1 MeV | 10^{10} K | Nukleosynteza - łączenie się protonów i neutronów w jądra |
| 10^{-6} s | 1 GeV | 10^{13} K | Anihilacja protonów i antyprotonów; pozostaje mała nadwyżka protonów; bariogeneza – łączenie się kwarków w neutrony i protony |
| 10^{-10} s | 100 GeV | 10^{15} K | Unifikacja sił elektromagnetycznych i słabych |
| 10^{-33} s | 10^{14} GeV | 10^{27} K | Koniec inflacji? Powstanie kwarków i gluonów? |
| 10^{-35} s | 10^{14} GeV | 10^{27} K | Wielka unifikacja? Początek inflacji? |
| 10^{-42} s | 10^{18} GeV | 10^{31} K | Era Plancka. Powstanie czasoprzestrzeni? |
| ... | ... | ... | ??? |

Stopniowo zbliżamy się do fizyki sprawdzonej w laboratorium. We Wszechświecie pojawiają się kwarki i gluony, a następnie wyodrębniają się oddziaływania elektromagnetyczne i słabe. Hipoteza, że

te dwie siły stanowią dwa przejawy jednego, bardziej uniwersalnego oddziaływania zwanego elektrosłabym została potwierdzona doświadczalnie w latach 80-tych. W ośrodku CERN pod Genewą uzyskano energie rzędu 100 GeV (gigaelektronowoltów) jakie panowały w pod koniec stumiliardowej części sekundy po Wielkim Wybuchu. Odkryto cząstki zwane bozonami W i Z będące nośnikami oddziaływań elektrosłabych.

Wszechświat dalej rozszerza się i stygnie. Kwarki łączą się ze sobą trójkami w neutrony i protony. We Wszechświecie jest wtedy prawie tyle samo cząstek i antycząstek. Kiedy temperatura dalej spada, anihilują one wzajemnie i tylko jedna cząstka na miliard nie znajduje antypartnera. Cała antymateria znika, pozostaje jedynie ta drobna nadwyżka materii, która stanie się później budulcem gwiazd, planet i naszych ciał.

Metody badania ewolucji Wszechświata

Precyzja z jaką potrafimy zrekonstruować egzotyczne epoki wczesnego Wszechświata może zadziwiać. Było to możliwe tylko dzięki połączeniu pomysłowości eksperymentatorów którym udało się wykonać wiele ważnych pomiarów i pracom teoretyków budujących modele tłumaczące wyniki obserwacji. W ten sposób kosmologia przeszła z fazy pierwszych odkryć do fazy precyzyjnych pomiarów. Warto przyjrzeć się bliżej kilku metodom pomiarowym zaczynając od przełomowych obserwacji Hubble'a.

Ucieczka galaktyk

Edwin Hubble w latach 20-tych XXw. mierzył prędkości odległych galaktyk wykorzystując w tym celu efekt Dopplera. Kiedy przejeżdża obok nas samochód to w momencie kiedy nas mija, ton jego dźwięku wyraźnie się obniża. Wynika to stąd, że kiedy samochód się przybliży to częściej docierają do nas czoła kolejnych fal dźwiękowych, niż gdy samochód się oddala. Podobnie jest ze światłem. Światło obiektu, który się od nas oddala będzie miało mniejszą częstotliwość. Oddalająca się galaktyka będzie się nam wydawała bardziej czerwona. Istnieje metoda precyzyjnego pomiaru stopnia takiego poczerwienienia. Otóż atomy różnych pierwiastków wysyłają światło o charakterystycznych długościach fali czyli określonych kolorach. Kiedy rozszczepimy za pomocą pryzmatu światło jarzeniówki albo lampy rtęciowej, to otrzymamy nie piękną tęczę, jak w przypadku zwykłej żarówki, ale kilka obrazów lampy o określonych barwach, przesuniętych względem siebie. (Zamiast przepuszczać światło przez pryzmat można popatrzeć na odbicie lampy w płycie CD.) Podobnie można zrobić ze światłem odległej galaktyki. Otrzymamy linie światła o różnych barwach pochodzące od różnych pierwiastków. Jeżeli galaktyka się oddala, to linie te będą nieco przesunięte. Właśnie takie przesunięcie ku czerwieni (ang. redshift) informuje nas o prędkości galaktyki.

Hubble zaobserwował, że wszystkie odległe galaktyki oddalają się od nas i to tym prędzej im bardziej są oddalone. Nie oznacza to, że Ziemia jest w centrum Wszechświata. Jeżeli na baloniku narysujemy równomiernie rozłożone kropki, to w miarę dmuchania, odległości między nimi będą rosły. Możemy wybrać dowolną kropkę i zaobserwujemy, że wszystkie inne od niej się oddalają. Co więcej, podobnie jak galaktyki, dalsze kropki będą oddalać się szybciej. Wniosek jest szokujący: cały Wszechświat rozszerza się jak nadmuchiwany balonik. Potrafimy nawet określić prędkość tego rozszerzania. Umiemy policzyć jakie odległości były między poszczególnymi galaktykami tysiąc, milion czy miliard lat temu. Im dalej wstecz, tym były mniejsze. Rozumowanie to prowadzi nas do jeszcze bardziej szokującego wniosku: był taki moment, kiedy odległości te wynosiły zero! Modele oparte na teorii Einsteina pozwalają obliczyć, że moment ten miał miejsce niecałe 14 mld lat temu. Od tego momentu zaczęła się ekspansja, która trwa do dziś. Dlatego moment ten przyjęło się nazywać Wielkim Wybuchem (ang. Big Bang) choć samo istnienie takiej chwili nie jest pewne, gdyż taka ekstrapolacja wykracza poza obecnie znane teorie.

Odległe supernowe

Prosta obserwacja ucieczki galaktyk doprowadziła nas do wniosku, że Wszechświat miał początek a nawet wyznaczyć jego wiek. Czy można jednak ufać tak daleko idącej ekstrapolacji? Jak dowiedzieć się czegoś o Wszechświecie sprzed miliardów lat, żeby sprawdzić obliczenia? Przydatny okazuje się tu fakt, że światło rozchodzi się z olbrzymią, ale skończoną prędkością. Wynosi ona 300 000 km/s. Światło Księżyca dociera do nas nieco ponad sekundę. Ze Słońca już ponad 8 minut. Od najbliższej innej gwiazdy dociera całe 4 lata, od sąsiedniej galaktyki 2,5 miliona lat! Jeżeli więc chcemy się dowiedzieć jak wyglądał Wszechświat miliard lat temu, wystarczy obserwować gwiazdy tak odległe, że światło od nich musiało wędrować właśnie miliard lat.

Nie mamy szans zaobserwowania zwykłej gwiazdy z takiej odległości. Ale większość gwiazd kończy swój żywot spektakularnym wybuchem zwanym supernową. Na kilka dni gwiazda taka może stać się jaśniejsza niż razem wzięty miliard gwiazd w jej macierzystej galaktyce. Wiemy już jak zmierzyć prędkość takiej gwiazdy. Ale jak zmierzyć tak gigantyczną odległość? Otóż znaleziono klasę supernowych, które trwają tym dłużej im są jaśniejsze. A zatem mierząc czas rozbłysku możemy określić jasność absolutną gwiazdy. Oczywiście im gwiazda jest dalej tym będzie nam się wydawać słabsza. Porównując więc obliczoną jasność absolutną z jasnością obserwowaną możemy wyznaczyć odległość. Z takich właśnie obserwacji wiemy, że kilka miliardów lat temu Wszechświat też się rozszerzał. Co ciekawe, rozszerzał się nieco wolniej. Zatem obserwacje odległych supernowych nie tylko potwierdzają hipotezę o rozszerzaniu się Wszechświata, ale pozwalają istotnie uściślić parametry teorii opisującej to rozszerzanie.

Promieniowanie reliktowe

Odtwarzanie wstecz historii Wszechświata aż do pierwszych sekund po Wielkim Wybuchu wbrew pozorom nie jest bardzo skomplikowane. W dużej mierze odgrywają tu rolę prawa, które znamy ze szkolnych lekcji fizyki. W popularnej książce „Pierwsze 3 minuty” Steven Weinberg podaje potrzebne wzory. Pilny uczeń liceum nie będzie miał problemu z ich przeliczeniem.

Przełomowy moment miał miejsce 380 000 lat po Wielkim Wybuchu. Zanim utworzyły się gwiazdy i galaktyki przestrzeń wypełniona była luźnymi atomami wodoru i helu. Im bliżej Wielkiego Wybuchu tym większa była gęstość tego gazu, a więc i większa temperatura. Właśnie około 380 000 roku osiągnęła ona wielkość taką jaka panuje we wnętrzu burzowej błyskawicy. W takiej temperaturze elektrony odrywają się od jąder atomowych tworząc stan materii zwany plazmą. Nieustannie zderzając się ze sobą emitują promieniowanie, które obserwujemy jako oślepiający błysk. Wszechświat w wieku 380 000 lat cały wyglądał jak wnętrze błyskawicy. Dzisiaj powinniśmy więc móc oglądać ten oślepiający blask pochodzący z odległych obszarów Wszechświata. Pamiętajmy jednak, że obszary te oddalają się od nas z gigantyczną prędkością. Zatem światło stamtąd pochodzące powinno mieć barwę silnie przesuniętą ku czerwieni. Obliczenia pokazują, że powinno być przesunięte nawet poza podczerwień i dzisiaj być promieniowaniem mikrofalowym. Ponieważ obraz tego promieniowania jest swego rodzaju zdjęciem pamiątkowym młodego Wszechświata (zaledwie 0.003% obecnego wieku), nazwano je promieniowaniem reliktowym.

Promieniowanie takie rzeczywiście odkryto i to dość przypadkowo. W roku 1965 Penzias i Wilson testowali nowy rodzaj anteny. Pracownicy usuwali kolejno różne źródła szumu, łącznie z „białą, dielektryczną substancją pozo-stawioną przez gołębie” (to cytata z ich noblowskiej publikacji). Ciągłe pozostawał jednak szum, który nie dawał się usunąć. W końcu Penzias i Wilson zrozumieli, że jego źródłem nie jest ich aparatura, ale odległy Wszechświat.

W późniejszych latach na orbicie okołoziemskiej umieszczono satelity, które dokonały precyzyjnych pomiarów promieniowania relikowego. Pomiaru te potwierdziły z niezwykłą precyzją przewidywania modelu Wielkiego Wybuchu. Przyniosły też wiele cennych informacji o strukturze i zawartości Wszechświata w jego wieku dziecięcym.

Pochodzenie pierwiastków

Jak widzimy młody (po 380 000 lat) Wszechświat nie był obiektem skomplikowanym. Wypełniony był mniej więcej jednorodnie atomami wodoru i helu. Wcześniej atomy nie mogły istnieć w całości. W przestrzeni poruszały się oddzielnie elektrony i jądra atomowe. Tak było już od kilku minut po Wielkim Wybuchu. Jeszcze wcześniej nawet jądra atomowe musiały ulec rozbiciu w olbrzymiej gęstości i temperaturze, jakie wówczas panowały. Zjawiska tam zachodzące to domena fizyki jądrowej, która w latach 40-tych XXw. była już dobrze ugruntowaną teorią. Trzeba jednak było dużej odwagi i wyobraźni, aby wiedzę zdobytą w doświadczeniach laboratoryjnych zastosować do opisu Wszechświata jako całości i to w pierwszych minutach od jego zaistnienia. Pierwsi dokonali tego Alpher, Bethe i Gamow. W 1948r w słynnej pracy nazywanej później żartobliwie $\alpha\beta\gamma$, przedstawili teorię powstawania pierwiastków i przewidzieli istnienie promieniowania relikowego. Teoria ta nie tylko przedstawiała prawdopodobny mechanizm wytwarzania różnych pierwiastków, ale przewidywała proporcje, w jakich powinny one występować w przyrodzie. Przewidywania te z dużą dokładnością zgadzają się z obserwacjami, co stanowi niezwykle dobitne potwierdzenie hipotezy Wielkiego Wybuchu.

Początek Wszechświata

Rzut oka na tabelę 1 pokazuje zdumiewającą cechę ewolucji Wszechświata: cofając się w czasie wydarzenia bieżącej coraz szybciej. Kolejne epoki trwają 13 mld lat, 200 mln lat, 380 tys. lat, 3 minuty,

miliardową sekundy, a w każdej dzieje się tyle co w poprzedniej. Z tego właśnie powodu ewolucję Wszechświata przedstawia się często używając logarytmicznej skali czasu. W tej skali każda kolejna epoka trwa wielokrotnie krócej od następnej, a początek staje się nieosiągalny, gdyż oddziela nas od niego nieskończenie wiele epok.

| | | | | | | | | |
|---------------------|-----|--------|-------|------|-----|---|-----|-----|
| Skala liniowa | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ... | |
| Skala logarytmiczna | ... | 0.0001 | 0.001 | 0.01 | 0.1 | 1 | 10 | ... |

Sama zmiana skali to zabieg czysto matematyczny, może on nam jednak sugerować konkretne modele fizyczne. Przyjrzyjmy się pokrótce kilku z nich.

A. Klasyczny „Wielki Wybuch”

W klasycznej teorii Wielkiego Wybuchu ekstrapolacja do początku $t=0$ prowadzi do nieskończonej gęstości i nieskończonej temperatury. Fizyka „nie lubi” nieskończoności. Nieskończoność jest w zasadzie pojęciem spoza fizyki, a w fizyce służy tylko do określenia granicy stosowalności danej teorii. Tak jest zapewne także z Wielkim Wybuchem. Nieskończoność w $t=0$ jest nie tyle przewidywaniem teorii co wskazówką, że dążąc do $t=0$ teoria przestaje pracować. Nie znamy teorii, która może opisywać Wszechświat w pobliżu $t=0$ (jeżeli w ogóle pojęcie czasu ma wtedy sens), spodziewamy się, że będzie to kwantowa wersja teorii Einsteina, nazywana kwantową teorią grawitacji.

B. „Twardy” początek

Możliwe jest, że któraś z kolejnych epok nie będzie miała już poprzedniej. Dojdziemy do chwili $t=0$, w której Wszechświat powstanie na skutek np. kwantowej fluktuacji. Mechanizm taki łatwo sobie wyobrazić w przeciwnym kierunku. Kiedy zderzają się elektron i pozyton dochodzi do ich unicestwienia – anihilacji. Jednak aby spełnić zasadę zachowania energii, energia pozostała po anihilacji unoszona jest przez dwa fotony. Gdyby Wszechświat jako całość miał wypadkową energię równą zero, to możliwe byłoby jego spontaniczne unicestwienie, a także jego powstanie „z niczego”..

Opis ten z wielu względów nie jest wystarczająco dobrze ugruntowany teoretycznie - warto zwrócić choćby uwagę na to, że w ogólnej teorii względności nie można w ogólności nadać sensu pojęciu energii Wszechświata.

C. „Początek” punktem umownym

Hartle i Hawking próbując zbudować model kreacji Wszechświata zaproponowali ciekawy sposób pozbycia się problemu początku. Ich model korzysta z faktu, że w teorii względności czas jest współrzędną podobną do współrzędnych przestrzennych. W pobliżu $t=0$ czasoprzestrzeń zmienia metrykę tak, że „początek” przypomina biegun na kuli ziemskiej, gdzie analogiem czasu jest szerokość geograficzna. Idąc w pobliżu bieguna północnego na północ niepostrzeżenie mijamy biegun i okazuje się, że nie zmieniając kierunku marszrutę poruszamy się dalej na południe! Podobnie cofając się wstecz do $t=0$ przechodzimy gładko przez ten punkt podróżując dalej już ku przyszłości. W tym modelu początek Wszechświata więc istnieje, ale fizycznie nie różni się od innych punktów czasoprzestrzeni. Jest w zasadzie punktem umownym, wynikającym z wyboru określonych współrzędnych.

Model ten pozbywając się początku nie pozbywa się jednak punktu wyróżnionego. W pewnym momencie czasoprzestrzeń musi drastycznie zmienić swoje własności. Wzór opisujący odległość między zdarzeniami Δd początkowo ma postać $\Delta d^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 + \Delta t^2$ i nagle musi przybrać postać dzisiaj obowiązującą $\Delta d^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 - \Delta t^2$. Trudno wyobrazić sobie mechanizm takiej zmiany, co powoduje, że ten model, pomimo swej „estetycznej” atrakcyjności jest słabym kandydatem na dojrzałą teorię fizyczną.

D. Wielki Wybuch zmianą, a nie początkiem

Istnieją teorie, które opisują Wielki Wybuch jedynie jako stan przejściowy o dużej gęstości i temperaturze. Wtedy chwila $t=0$ to nie rzeczywisty początek, ale moment maksymalnej gęstości. Wszechświat istniał więc przed Wielkim Wybuchem i pytanie o początek znów umyka w jeszcze odleglejsze epoki - scenariusz tego typu jest sugerowany np. przez teorię strun.

E. Historia logarytmiczna

Można rozważyć scenariusz, w którym obraz skali logarytmicznej jest dokładnie realizowany w fizycznej rzeczywistości. Od chwili $t=0$ dzieli nas więc nieskończenie wiele coraz krótszych epok. W modelu tym żadna wielkość fizyczna nie przybiera wartości nieskończonej – w tym sensie jest on „lepszy” od modelu klasycznego Wielkiego Wybuchu (A). Jednak sama liczba epok jest nieskończona, co znów przynosi pytanie o fizyczny sens takiej możliwości.

F. Rozpad czasoprzestrzeni

Nie należy zapominać, że czasoprzestrzeń to też pojęcie fizyczne, dobrze zdefiniowane tylko w określonej teorii fizycznej. Każda teoria ma swój zakres stosowalności, poza którym staje się coraz gorszym przybliżeniem rzeczywistości. Już szczególna teoria względności pokazała, że pojęcia czasu i przestrzeni traktowane oddzielnie nie są dobrymi pojęciami gdy mamy do czynienia z prędkościami bliskimi prędkości światła i trzeba je zastąpić nowym pojęciem - czasoprzestrzeni. Być może w bardzo wczesnym Wszechświecie także pojęcie czasoprzestrzeni przestaje być adekwatne. Może się okazać, że jest pojęcie statystyczne, dobrze określone tylko po uśrednieniu po odpowiednio długim czasie i dużej powierzchni. Przykładowo, pojęcie poziomu morza jest bardzo przydatne, kiedy chcemy określić topografię dużego terenu. Kiedy jednak siedzimy na plaży i widzimy wzburzone fale, to zdajemy sobie sprawę iż „poziom morza” jest pojęciem abstrakcyjnym. Podobnie początek Wszechświata może okazać się pojęciem abstrakcyjnym, gdyż być może samo pojęcie czasu (a więc i początku) nie ma określonego sensu dla bardzo krótkich odcinków.

Podsumowanie

Opisane modele pokazują, że fundamentalne pytanie czy Wszechświat jest odwieczny czy też miał określony początek może mieć trzecią odpowiedź: Wszechświat ma skończony i dobrze już nam znany wiek, ale jego początek wymyka nam się w ciągu kolejnych, coraz krótszych epok, gdzie samo pojęcie początku traci sens. Dzisiaj konkretny kształt tej odpowiedzi może być tylko przedmiotem spekulacji. Jednak rozwój teorii fizycznych i postęp w eksperymentalnym badaniu świata dają nadzieję, że nawet to pytanie fizyka wkrótce wyrwie filozofii. Teologia i filozofia nie muszą jednak obawiać się o swój byt. Zawsze pozostaną im pytania np. o sens istnienia Wszechświata, dlaczego istnieją prawa fizyki, dlaczego jest coś a nie nic czy wreszcie pytanie o sens zdania „Na początku było Słowo”...