

CZY WIELKI WYBUCH BYŁ GŁOŚNY?

12 ROZMÓW O HISTORII
I ŻYCIU CODZIENNYM WSZECHŚWIATA

Karolina Głowacka • Jean-Pierre Lasota



Wydawnictwo
—RN—

Warszawa 2024

Copyright © Karolina Głowacka, Jean-Pierre Lasota, 2017

Copyright © Wydawnictwo RN, 2024

Redakcja: Gabriela Niemiec

Korekta: Przemysław Żbikowski

Opieka redakcyjna: Anna Radwan-Żbikowska

Opieka produkcyjna: Tomasz Jaroszek, Justyna Jaroszek

Projekt okładki: Ula Pągowska

Rysunki: Konrad Kondratowicz

Opracowanie graficzne wykresów: Filip Pachla

Fotografia autorów na okładce: Mikołaj Starzyński

Projekt typograficzny i skład: Mimi Wasilewska

ISBN 978-83-972751-2-6

Wydanie II poprawione i rozszerzone, Warszawa 2024

Wydanie I: Prószyński i S-ka, Warszawa 2017

Książkę złożono krojami Questa oraz Questa Sans

Druk: Drukarnia Perfekt S.A., ul. Polczyńska 99, 01-303 Warszawa

Spis treści

Słowo wstępne	5
Przedmowa do wydania drugiego	11
Przedmowa do wydania pierwszego	13
Rozmowa 1. Po co nam to wszystko?	15
Rozmowa 2. Skąd się wzięliśmy	29
Rozmowa 3. Gdzie jesteście?	47
Rozmowa 4. Co było na początku?	101
Rozmowa 5. „Najważniejsze jest niewidoczne dla oczu”	151
Rozmowa 6. Jak ci mija czas?	179
Rozmowa 7. Spadaj swobodnie	221
Rozmowa 8. Świergot czarnych dziur	261
Rozmowa 9. Czarne dziury	323
Rozmowa 10. Skąd wy to wszystko wiecie?	381
Rozmowa 11. Kosmos dostrojony?	427
Rozmowa 12. Czy fizycy wierzą w Boga?	447
Leksykon terminów fizycznych	465
Spis ilustracji i źródeł	486

Co było na początku?

Czyli o historii najdawniejszej, o tym, czy Wszechświat ma swoje centrum i czy nadejdzie jego koniec

Czy Wielki Wybuch był głośny?

Skąd ten pomysł?

A co w nim dziwnego? Wiadomo, że dźwięk nie rozchodzi się w przestrzeni kosmicznej, ale tuż po Wielkim Wybuchu na niewielkiej przestrzeni było wszystko, więc dźwięk miał się w czym rozchodzić.

Och, mój Boże! To mi dopiero pomieszanie pojęć! Dźwięk się rozchodził¹, był to taki nieszczerólnie przyjemny pulsujący szum, ale nie był to dźwięk wybuchu, bo żadnego wybuchu nie było. Fred Hoyle bardzo by się twoim pytaniem ubawił.

Ten, który wymyślił nazwę „Wielki Wybuch”?

Ten sam, chociaż to jest akurat nieszczęśliwe tłumaczenie. On użył nazwy „Big Bang”. Hoyle był wielkim angielskim astronomem, zwolennikiem modelu wiecznego, stacjonarnego Wszechświata. Pomysł, że Wszechświat mógł mieć swój początek, Hoyle wyśmiewał. „Też mi model Wszechświata!” – kpił. „Że niby wszystko zaczęło się od

¹ Dźwięk ten, którego ślady obserwuje się w reliktowym promieniowaniu tła, wywołany był zaburzeniami kwantowymi, a jego odtworzenie można usłyszeć na stronie: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia16881-sounds-of-the-ancient-universe>.

wielkiego *bang*, czyli wielkiego »bum«!” Pierwszy raz użył tego określenia w audycji popularnonaukowej w BBC w 1949 roku. *Bang* nie ma oznaczać „wybuchu”, ale ma być prześmiewczą onomatopcją.

Czyli nic nie wybuchło?

Nic. Wybuchy są w czymś, czyli w przestrzeni. Bomba, wulkan czy supernowa, wybuchając, wyrzucają w przestrzeń odłamki, lawę i kamienie, otoczkę gwiazdy. Wszechświat nie znajduje się w żadnej przestrzeni, nie ma niczego na zewnątrz Wszechświata, nie ma w co wybuchać. Po prostu cały Wszechświat zaczął się w pewnej chwili rozszerzać.

Jesteście naprawdę okropni z tymi nazwami. To co mam rozumieć, kiedy mówicie „Wielki Wybuch”?

Akurat w tym przypadku to nie my jesteśmy okropni. To wina niedanego zabiegu Hoyle’a i wasza, publiczności: to wam tak bardzo spodobano się to określenie, że nie dało się mówić inaczej. Precyzując, Big Bang – wolę jednak nie używać słowa „wybuch” – to nazwa nadana modelowi rozszerzającego się Wszechświata. Według tego modelu Wszechświat był kiedyś niezwykle gorący, a potem przez rozszerzanie się stygł. Co ważne, uważamy, że to rozszerzanie kiedyś się rozpoczęło, dlatego możemy mówić o wieku Wszechświata. Zauważyłaś, że mówię „model”, a nie jak niektórzy „teoria”?

Tak. To istotne?

Istotne, bo to nie to samo. Big Bang to model – teorie, które służą do jego budowy, to ogólna teoria względności Einsteina, teoria cząstek elementarnych, zwana modelem standardowym, teorie jądra atomowego i atomu oraz teoria Maxwella opisująca elektromagnetyzm. Zbyt często się zapomina, że kosmologia jest częścią fizyki, że jest przede wszystkim zastosowaniem dobrze sprawdzonych praw fizyki do opisu Wszechświata.

Nadal nie rozumiem, dlaczego to ważne.

Dlatego że to znaczy, że fizyka opisująca rozszerzanie się Wszechświata jest tą samą fizyką, która opisuje spadanie jabłka, żarzenie się żarówki, działanie fotokomórki i wybuch bomby termojądrowej. To znaczy też – a może przede wszystkim – że zakłada się coś bardzo ważnego: że znane nam prawa fizyki obowiązują wszędzie we Wszechświecie i że obowiązywały zawsze. Kosmologia to nie jakieś tam nasze wymysły, to jest fizyka stosowana. Oczywiście jest to bardzo specjalne zastosowanie fizyki, bo dotyczy jednego tylko – za to olbrzymiego – obiektu. I to na dodatek widzianego z jednego tylko miejsca.

Powiedziałeś, że na początku ten obiekt, Wszechświat, był niesamowicie gorący, ale teraz taki jest. Skąd wiecie, że kiedyś było inaczej?

Mamy na to dowody. Od 1964 roku wiemy, że Wszechświat jest równomiernie wypełniony tak zwanym kosmicznym promieniowaniem tła. Znaleźli je wtedy, zupełnie przypadkiem, Arno Penzias i Robert Wilson. Ich zasługą było to, że zrozumieli, czym jest zagadkowy i nieusuwalny szum w ich mikrofalowej antenie, za co dostali w 1978 roku Nagrodę Nobla z fizyki.

Gdybyśmy byli w stanie obserwować promieniowanie tła podobnie, jak widzimy światło, nasze niebo nocą nigdy nie byłoby czarne, lecz pokryte delikatną poświatą. Musielibyśmy jednak mieć niezwykle wrażliwe oczy, bo temperatura tego promieniowania wynosi 2,7 kelwina, czyli 2,7 stopnia powyżej zera absolutnego. To bardzo zimno. Ale jeśli nasz model Big Bangu jest słuszny – a mamy na to wiele argumentów – to promieniowanie tła jest zimną resztką gorącego promieniowania pierwotnego. Czyli temperatura Wszechświata w przeszłości powinna być znacznie, znacznie wyższa.

Nie rozumiem, jak promieniowanie ma się do temperatury.

Ależ znasz to doskonale z codzienności. Ogólnie mówiąc, wszystko, co ma temperaturę wyższą niż zero absolutne – gwiazdy, piec, ale nawet zimna w naszym odczuciu stal – emituje promieniowanie. Ty i ja też, promieniujemy w podczerwieni, dlatego widać nas przez noktowizory.

Temperatura to nic innego jak średnia energia ruchu cząstek. Przez to, że się ruszają – odbijają się od siebie. Kiedy dochodzi do zderzenia na przykład atomów, energie ich elektronów ulegają zmianie – na przykład elektron przeskakuje na niższy poziom energetyczny. Taka zmiana powoduje emisję fotonów – i oto masz promieniowanie.

Ale to nie koniec. Wyemitowane fotony zostają rozproszone i pochłonięte przez następne cząsteczki czy atomy. To powoduje dalsze zmiany energii elektronów, czyli dalszą emisję fotonów – i tak dalej. Podobnie jest w gorącej plazmie, gdy elektrony nie są związane w atomach – a tak było w początkach historii Wszechświata – tylko dzieje się to na nieco innej zasadzie.

Gdy te wszystkie zderzenia, hamowania, emisje, absorpcje i rozpraszania są w równowadze, promieniowanie takiego układu nazywane jest promieniowaniem ciała doskonale czarnego.

To brzmi podejrzanie.

Tak, nazwa trochę myląca, ale ma swoje uzasadnienie. Związana jest z tym, że ciało doskonale czarne pochłania wszystkie długości fali światła widzialnego. Czyli jest z tym promieniowaniem w równowadze. Na przykład gwiazdy są w przybliżeniu ciałami doskonale czarnymi.

Jak to czarnymi? Żółtymi, czerwonymi, niebieskimi, ale przecież nie czarnymi.

„Czarne” określa tu nie barwę, ale właściwości promieniowania takiego ciała. Zresztą w praktyce nie istnieje idealne promieniowanie ciała doskonale czarnego. Jest tylko jeden wyjątek, za to istotny: Wszechświat.

Chyba nie nadążam.

Oderwij się od myślenia w kategoriach widzialnych kolorów. Ciało doskonale czarne to takie, które jest w równowadze cieplnej. Według modelu rozszerzającego się Wszechświata miał on w swojej historii okres takiej równowagi. Dzięki wielkiemu fizykowi Maxowi Planckowi

wiemy, że znając temperaturę ciała doskonale czarnego, potrafimy opisać cechy jego promieniowania.

I teraz, po tym, jak w 1964 roku dostaliśmy potwierdzenie istnienia kosmicznego promieniowania tła, chcieliśmy je zmierzyć dokładniej i sprawdzić, czy jego pochodzenie ma związek z historią Wszechświata. Przeciwnicy Big Bangu szukali dla niego innych źródeł.

Dlatego w 1989 roku na orbitę wystrzelono satelitę COBE. Znalismy już temperaturę promieniowania tła. COBE, na podstawie prawa Plancka, miał sprawdzić zgodność cech promieniowania tła z cechami promieniowania ciała doskonale czarnego odpowiedniego dla 2,7 stopnia. Jeśliby to się potwierdziło, oznaczałoby, że mamy rację co do tego, że Wszechświat kiedyś był znacznie gorętszy i że był w równowadze termicznej. Słowem: był inny, niż jest teraz.

I co?

I tak jest! Zgodność została potwierdzona z dokładnością do 0,1%, co jest doskonałym wynikiem. Ten eksperyment przesądził o kosmologicznym pochodzeniu promieniowania tła, a odpowiedzialni za eksperyment John Mather i George Smoot też dostali Nobla.

Może dla ciebie teraz nie jest to tak szokujące, ale wtedy dla wielu osób było. Przez stulecia, ba, przez tysiąclecia uważano, że Wszechświat jest wieczny i niezmienny. Ewentualnie – że został stworzony w gotowej postaci. Dopiero XX wiek przyniósł obserwacje, które na zawsze zburzyły taki obraz historii Wszechświata. Wielu, w tym wspomniany Hoyle, długo nie chciało tego przyjąć.

A teraz nie ma już żadnych wątpliwości co do tego, że Wszechświat musiał się kiedyś zacząć? I że ewoluował?

Według naszej obecnej wiedzy – żadnych. Więcej, na to, że Wszechświat stygnie, mamy nawet bezpośredni dowód obserwacyjny, a nie *tylko* pośredni, matematyczny. Otóż mój młodszy kolega z Instytutu Astrofizyki w Paryżu Patrick Petitjean i jego współpracownicy zmierzili temperaturę promieniowania we Wszechświecie około 11 mld lat temu. Obserwowali docierające do nas fotony obłoku materii oddalonego od nas właśnie o 11 mld lat świetlnych. Czyli docierające

do nas stamtąd promieniowanie ruszyło w swoją podróż 11 mld lat temu, jest więc bezpośrednim zapisem tamtego okresu.

Jasne.

Petitjean i koledzy użyli do swoich obserwacji ośmiometrowego teleskopu Kueyen, jednego z czterech tworzących – na górze Paranal w Chile – Very Large Telescope (Bardzo Duży Teleskop) Europejskiego Obserwatorium Południowego (ESO). Polska, warto wspomnieć, należy do tej organizacji od 2015 roku.

Znając właściwości fotonów, moi koledzy byli w stanie określić temperaturę tego promieniowania. Wyszło im, że w tamtym momencie historii Wszechświata temperatura wynosiła między 6 a 14 kelwinów. Model Big Bangu przewiduje na ten moment 9,1 stopnia. Wiemy więc na pewno, że w przeszłości Wszechświat był cieplejszy. Dokładnie tak, jak to przewiduje model rozszerzającego się Wszechświata. Nieżyjący już znany amerykański astronom John Bahcall, chwając w komentarzu w „Nature” prace Petitjeana i kolegów, skarżył się też przekornie na to, że ich wynik jest potwierdzeniem powszechnie przyjętego modelu: wynik sprzeczny z modelem byłby znacznie ciekawszy, pisał.

Zauważyłam, że fizycy nie lubią nudy. Ale zdaje się, że rozumiem: wiecie, że się rozszerza, a skoro tak, to znaczy, że kiedyś był mniejszy, coraz mniejszy, aż mieścił się w jednym punkcie. Nie było żadnych odległości między tymi wszystkimi cząstkami... Trochę to szalone.

Nie, nie, to nie tak.

Jak to nie tak?

Nie powiedziałem, że odległości były równe zero. Wiemy tylko, że były bardzo małe. Odległości równe zero oznaczają nieskończoną gęstość. A to znaczy, że wykraczamy poza prawa fizyki. Dlatego przyznałem ci się przecież, że w ogóle nie wiemy, co się działo na *samym* początku.

Skoro do opisu samiotkiego początku nie działają prawa znanej nam fizyki, to może wtedy były jakieś inne i jednak wszystko było w jednym punkcie?

Jeśli nawet w tym momencie – szalenie krótkim, bo nasza fizyka nie jest w stanie nic powiedzieć o zaledwie 10^{-43} sekundy od początku – panowały jakieś inne prawa fizyczne, to wyobrażenie o punkcie nic ci nie da. Nie miałby on zapewne nic wspólnego z geometrycznym punktem, o którym mówisz.

Uczciwie mogę ci powiedzieć tak: ze znanych nam, doświadczalnie sprawdzonych praw fizyki wynika, że na samym początku wszystkie wielkości fizyczne były nieskończone. To trochę niekomfortowa sytuacja, nie sądzisz?

Sądzę.

Taki stan to tak zwana osobliwość początkowa. Bardzo nam się to nie podoba, więc staramy się takich nieskończoności unikać.

Ale skąd one się w ogóle biorą?

Z obliczeń. W tak dużych energiach ogólna teoria względności (w skrócie: OTW), czyli teoria grawitacji, załamuje się. Pojawiają się właśnie nieskończoności. Dlatego uważa się, że w takich warunkach w grę muszą wchodzić efekty kwantowe, których OTW nie bierze pod uwagę.

Stąd znane powszechnie poszukiwanie teorii kwantowej grawitacji. Bo musisz pamiętać, że kiedy szukamy teorii, która pozwoli nam opisać sam początek, nie chcemy budować fizyki od zera na podstawie czyjegoś widzimisię. Chcemy połączyć całą wiedzę, którą już mamy, i owszem, stworzyć nową teorię, ale na bazie tego, co już wiemy. Gdyby było inaczej, moglibyśmy równie dobrze opowiadać, że Wszechświat napompował wielki purpurowy słoń.

Ale dlaczego kwantowa grawitacja jest taka tajemnicza? Cząstki są wszędzie, to i mechanika kwantowa jest wszędzie. Grawitacja też. Dlaczego więc tylko w tak szczególnych warunkach jest brana pod uwagę?

Grawitacja jest zupełnie nieistotna w opisie atomu, a mechanika kwantowa nie ma nic do powiedzenia, gdy interesujemy się na przykład orbitami planet w Układzie Słonecznym. To dlatego, że efekty kwantowe pojawiają się w bardzo małych skalach, atomowych lub mniejszych. W laboratoriach, w bardzo specjalnych warunkach, udaje się uzyskać efekty kwantowe w skali ludzkiego włosa. To jednak nadal nic, jeśli chodzi o skalę, w której w grę zaczyna wchodzić grawitacja.

Grawitacja jest najsłabszym z oddziaływań, odgrywa znaczącą rolę tylko przy bardzo dużych masach; mówiłem ci o tym, kiedy pytałaś, dlaczego planety są kuliste, a kometa nie.

Jedyne miejsce, w którym spotykają się oba elementy – bardzo duże masy w bardzo małych odległościach – to sąsiedztwo osobliwości. Gęstości są olbrzymie, prawie nieskończone. To znaczy, że niezwykle blisko siebie jest niezwykle dużo masy. Kostka ołowiu jest cięższa od kostki cukru właśnie dlatego, że ma większą gęstość. To teraz wyobraź sobie kostkę o prawie nieskończonej gęstości.

Szczerze mówiąc, nie bardzo potrafię.

Wcale ci się nie dziwię. Bo w takich warunkach, jak uważamy, rządzi już kwantowa teoria grawitacji. I to ona jest nam potrzebna, żeby opisać, co działo się na – jak to określiłaś – samiułkim początku. Tyle że mimo wieloletnich wysiłków najwybitniejszych umysłów wciąż tej teorii nie znamy.

Ale znajdziecie ją?

Olbrzymia większość fizyków uważa, że taka teoria istnieje i że ją znajdziemy. Choć moim zdaniem można w to wątpić.

Znakomity fizyk Freeman Dyson, jeden z twórców kwantowej teorii elektromagnetyzmu, wysunął bardzo poważne argumenty przeciwko istnieniu kwantowej teorii grawitacji.

To co jego zdaniem się działo na samym początku?

Nie wie. Przypuszcza, że mogą minąć stulecia, zanim się dowiemy.

Ktokolwiek ma rację, w tej chwili teorii kwantowej grawitacji nie ma. Istnieją próby jej zbudowania, ale brakuje im doświadczalnego potwierdzenia. Nie są więc pełnoprawnymi teoriami, tak jak rozumiemy to w fizyce. To są, jak by to nazwać, teorie hipotetyczne.

Najbardziej znane są dwie. Pierwsza to teoria superstrun², zwana czasami tajemniczo M-teorią czy ironicznie teorią wszystkiego, bo ma ambicje opisywać wszystkie oddziaływania fizyczne. Druga to pętłowa grawitacja kwantowa, która w zasadzie opisuje wyłącznie grawitację.

W teorii superstrun podstawowymi elementami są nie cząstki, jak dotychczas uważaliśmy, ale miliardy razy mniejsze od najmniejszych znanych nam cząstek drgające pętelki energii.

Chyba struny.

Pętelki. Ze strun.

W teorii superstrun są pętelki? To co jest w teorii pętłowej?

Grudki czasoprzestrzeni.

Żartujesz sobie.

Ja tego nie wymyśliłem.

Dobra, w teorii superstrun są pętelki. Supermałe. Co dalej?

Te pętelki energii są najmniejsze, niepodzielne. Nie ma mniejszej skali. To trochę tak, jak kiedyś pojmowano atom – *atomos* znaczy po grecku „niepodzielny”.

Hm, nie mieli racji.

² Teoria superstrun jest znakomicie opisana przez Briana Greene’a w książce *Piękno wszechświata. Superstruny, ukryte wymiary i poszukiwanie teorii ostatecznej* (tłum. E.L. Łokas, B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001).

Z superstrunami musimy poczekać jeszcze na końcowy werdykt. Ale wyjaśniając do końca: ta teoria, dzięki temu, że pętelki są najmniejsze, że nic nie może być mniejsze od nich, pozwala matematycznie uniknąć nieskończonych wielkości fizycznych.

A ta pętlowa?

W teorii pętlowej sama czasoprzestrzeń jest skwantowana, porcjowana. A więc nie można jej wartości dzielić i dzielić w nieskończoność. Istnieje najmniejsza możliwa porcja grawitacji. Grudka grawitacji.

I co to daje?

To samo co w teorii strun. Dzięki temu znów unika się kłopotliwych nieskończoności.

To w czym problem?

Obu tych teorii nie da się do końca zweryfikować doświadczalnie. Można najwyżej odrzucić pewne wersje teorii, a jest ich sporo.

Wybornie.

Rozumiem twoje rozczarowanie. Może w zamian skupmy się na tym, co już wiemy? A wiemy sporo.

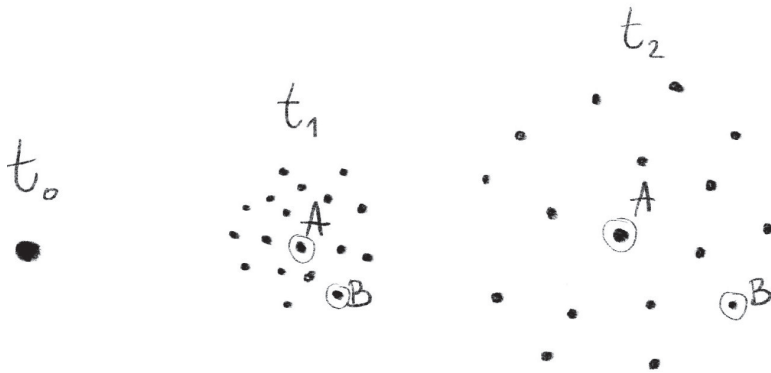
Dobrze. To jeszcze raz. Odległości na samym początku były bardzo, bardzo małe. Ale nadal: skoro Wszechświat się rozszerza, to znaczy, że był prawie punktem. Ten prawie punkt musiał gdzieś być, czyli Wszechświat rozszerza się z jakiegoś miejsca.

Nie.

Dlaczego nie? Skoro Wszechświat się rozszerza, to gdzieś to się musiało zacząć. I to jest centrum wszystkiego.

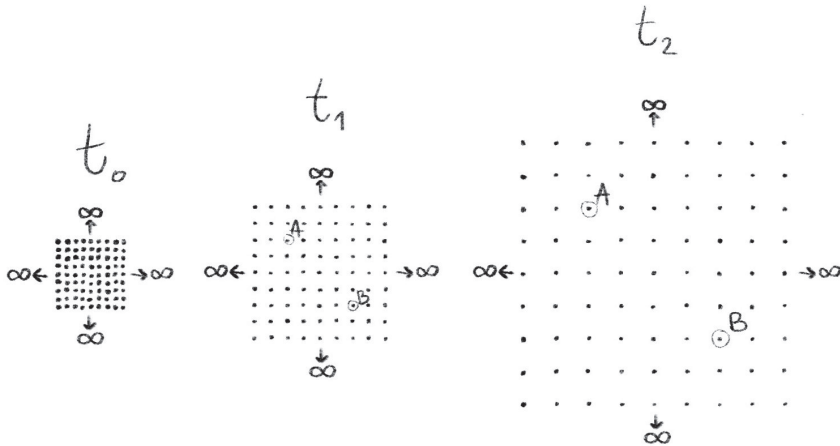
Wszechświat powstał wprawdzie *kiedys*, ale nie *gdzieś*! Narysuję ci.

Ty sobie wyobrażasz to tak:



Tutaj punkty A i B nie są równoważne. A jest centrum i Wszechświat startuje z punktu. To nieprawda.

Rzeczywisty Wszechświat według modelu standardowego jest raczej taki:



Widzisz? Żaden kierunek nie jest wyróżniony. Punkty A i B są takie same. I tak jest we Wszechświecie. Punkty mogą się tak rozciągać do nieskończoności. Wiesz, co to jest zasada kosmologiczna?

To teraz istotne?

Pomoże ci zrozumieć. Ta zasada składa się z dwóch części. Pierwsza mówi, że obserwowalny Wszechświat jest w każdym kierunku taki sam. Uczenie mówi się, że Wszechświat jest izotropowy. Druga część zasady kosmologicznej to zasada kopernikańska: nie znajdujemy się w jakimś szczególnym miejscu we Wszechświecie, bo takich miejsc nie ma. Świat jest jednorodny. Oczywiście ta jednorodność i izotropowość dotyczy tylko bardzo dużej skali, powyżej 30 mln lat świetlnych. Istnienie różnorodnych planet, gwiazd czy galaktyk nic w tym sensie nie zmienia.

Jeśli to prawda, to rzeczywiście nie może istnieć żadne centrum, chociaż trudno mi to przyjąć. Dlaczego uważacie, że zasada kosmologiczna jest prawdziwa?

Tak wynika z obserwacji. Z izotropią jest dość prosto, bo wystarczy obserwować Kosmos w różnych kierunkach i sprawdzać, czy któryś z nich się wyróżnia. Żadne, nawet najdalej sięgające i najdokładniejsze obserwacje nie wskazują na nic takiego. Wszystkie potwierdzają izotropię.

Jednorodność trudniej jest zaobserwować, bo nie potrafimy przenieść się do galaktyki oddalonej o, powiedzmy, 100 mln lat świetlnych i zobaczyć, czy Wszechświat wygląda stamtąd tak samo jak z Ziemi. Niemniej różne obserwacje pośrednio potwierdzają jednorodność Wszechświata, a więc i całą zasadę kosmologiczną.

Czyli jeszcze raz: skoro Wszechświat jest wszędzie taki sam, a my nie jesteśmy w wyjątkowym miejscu – bo też takie miejsce nie istnieje – to, co obserwujemy z naszej perspektywy, jest identycznie obserwowalne w każdym innym miejscu. I wobec tego nie ma żadnego centrum, z którego Wszechświat by ekspandował.

Może i to obserwujecie, ale to przecież zupełnie bez sensu.

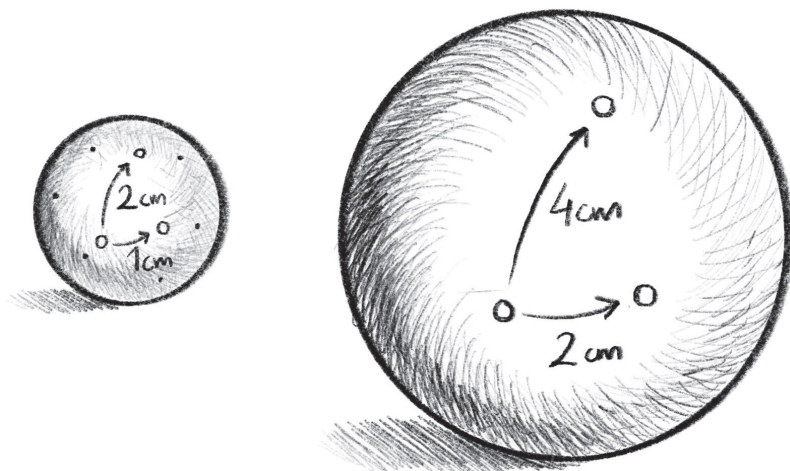
To ciekawe stwierdzenie: „obserwujecie coś, co jest bez sensu”. Nie da się obserwować czegoś, co jest bez sensu albo z sensem. Sens mogą mieć zdania, a nie zjawiska. Może chcesz powiedzieć, że nasza interpretacja obserwacji nie ma sensu?

Może i tak. Ale tego po prostu nie da się sobie wyobrazić.

Przecież ja też nie potrafię sobie tego wyobrazić! Tu niestety dochodzimy do takiego miejsca, gdzie bez narzędzi matematycznych trudno coś pojąć. Musisz mi zaufać. Albo zacząć studiować fizykę i policzyć sobie to sama.

Na razie posłucham ciebie.

Okej, może to ci pomoże: często kiedy chce się wytłumaczyć, że oddalanie się od siebie galaktyk to efekt rozszerzania się Wszechświata identycznego w każdym kierunku, używa się porównania do powierzchni balonu.



Dzięki porównaniu z pompowanym balonem możemy sobie wyobrazić oddalanie się od siebie galaktyk powodowane rozszerzaniem się Wszechświata.