Zasada antropiczna i strzałki czasu w kosmologii Hawkinga

AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Artykuł stanowi głęboką analizę kosmologicznych koncepcji Stephena Hawkinga, koncentrując się na zasadzie antropicznej oraz fenomenie strzałek czasu. Autor bada, dlaczego parametry fizyczne naszego Wszechświata wydają się idealnie dostrojone do powstania inteligentnego życia, rozważając przy tym teorię multiwersum i krajobraz teorii strun. Tekst szczegółowo opisuje trzy rodzaje strzałek czasu – termodynamiczną, psychologiczną i kosmologiczną – wyjaśniając ich rolę w ewolucji kosmosu od Wielkiego Wybuchu po horyzont zdarzeń czarnych dziur. To fascynująca podróż przez granice ogólnej teorii względności i mechaniki kwantowej, która rzuca nowe światło na epistemologiczne pytania o nasze miejsce w rzeczywistości oraz naturę nieporządku kształtującego bieg historii wszechświata.

This article provides a deep analysis of Stephen Hawking's cosmological concepts, focusing on the anthropic principle and the phenomenon of arrows of time. The author explores why the physical parameters of our universe seem perfectly tuned for the emergence of intelligent life, considering the multiverse theory and the landscape of string theory. The text details three types of arrows of time—thermodynamic, psychological, and cosmological—explaining their role in the evolution of the cosmos from the Big Bang to the event horizon of black holes. This is a fascinating journey through the frontiers of general relativity and quantum mechanics, shedding new light on epistemological questions about our place in reality and the nature of disorder that shapes the course of universal history.

Wszechświat, który spojrzał w lustro. O zasadzie antropicznej i innych kosmicznych zdziwieniach Na początku był chaos, potem Wielki Wybuch, a na końcu pojawiliśmy się my – istoty zdolne podrapać się po głowie i zadać fundamentalne pytanie: dlaczego Wszechświat wygląda tak, jakby ktoś starannie przygotował go do naszego istnienia? Właśnie w tym zdumieniu kryje się cała moc zasady antropicznej – idei jednocześnie urzekającej i irytującej,

> która prowadzi do wniosku tyleż prostego, co głęboko prowokującego. Wszechświat jest taki, jaki jest, ponieważ gdyby był inny, nie byłoby nas tutaj, by o nim dyskutować. Sam termin „zasada antropiczna” został ukuty przez kosmologa Brandona Cartera w 1973 roku, podczas konferencji zorganizowanej z okazji pięćsetlecia urodzin Kopernika. W miejscu, które symbolicznie zdetronizowało ludzkość, Carter odważył się postawić tezę przeciwną, stwierdzając, że nasza pozycja we Wszechświecie jest w pewnym sensie uprzywilejowana. Jest to bowiem jedyna pozycja, która jest zgodna z naszym istnieniem jako obserwatorów. Innymi słowy, jesteśmy tutaj, bo mogliśmy tu być, i tylko dlatego zadajemy pytanie o to, gdzie właściwie jest „tutaj”. Carter rozróżnił przy tym dwie wersje swojej zasady: słabą i silną. Słaba zasada antropiczna stwierdza jedynie, że warunki, które obserwujemy we Wszechświecie, muszą pozwalać na istnienie obserwatora, co jest banałem o potężnych, kosmicznych konsekwencjach....

SŁOWA KLUCZOWE

zasada antropiczna | strzałki czasu | kosmologia Hawkinga | multiwersum | entropia | osobliwość | Wielki Wybuch | teoria strun | horyzont zdarzeń | stałe fizyczne | mechanika kwantowa | ogólna teoria względności | ekspansja wszechświata | epistemologia | nieporządek

Słaba vs silna zasada antropiczna: warunek obserwacji

Wszechświat, który spojrzał w lustro. O zasadzie antropicznej i innych kosmicznych zdziwieniach

Na początku był chaos, potem Wielki Wybuch, a na końcu pojawiliśmy się my – istoty zdolne podrapać się po głowie i zadać fundamentalne pytanie: dlaczego Wszechświat wygląda tak, jakby ktoś starannie przygotował go do naszego istnienia? Właśnie w tym zdumieniu kryje się cała moc zasady antropicznej – idei jednocześnie urzekającej i irytującej, która prowadzi do wniosku tyleż prostego, co głęboko prowokującego. Wszechświat jest taki, jaki jest, ponieważ gdyby był inny, nie byłoby nas tutaj, by o nim dyskutować.

Sam termin „zasada antropiczna” został ukuty przez kosmologa Brandona Cartera w 1973 roku, podczas konferencji zorganizowanej z okazji pięćsetlecia urodzin Kopernika. W miejscu, które symbolicznie zdetronizowało ludzkość, Carter odważył się postawić tezę przeciwną, stwierdzając, że nasza pozycja we Wszechświecie jest w pewnym sensie uprzywilejowana. Jest to bowiem jedyna pozycja, która jest zgodna z

naszym istnieniem jako obserwatorów. Innymi słowy, jesteśmy tutaj, bo mogliśmy tu być, i tylko dlatego zadajemy pytanie o to, gdzie właściwie jest „tutaj”.

Carter rozróżnił przy tym dwie wersje swojej zasady: słabą i silną. Słaba zasada antropiczna stwierdza jedynie, że warunki, które obserwujemy we Wszechświecie, muszą pozwalać na istnienie obserwatora, co jest banałem o potężnych, kosmicznych konsekwencjach. Znacznie bardziej kontrowersyjna jest wersja silna, która sugeruje, że Wszechświat po prostu musiał mieć takie właściwości, aby na pewnym etapie ewolucji mogło w nim powstać życie. Jak ujął to fizyk Freeman Dyson: „Im więcej o Wszechświecie się dowiaduję, tym bardziej wygląda na to, że w jakiś sposób wiedział, że przyjdziemy”.

Multiwersum wyjaśnia precyzyjne dostrojenie kosmosu

Gdy zasada antropiczna wkroczyła na kosmiczną scenę, część naukowców odetchnęła z ulgą. Wreszcie pojawiło się narzędzie pozwalające uzasadnić precyzyjne dostrojenie naszego Wszechświata: dlaczego stała Plancka ma taką, a nie inną wartość, czemu proton jest 1836 razy cięższy od elektronu i jakim cudem grawitacja nie rozjechała wszystkiego niczym walec. Inni jednak łapali się za głowę, twierdząc, że to nie wyjaśnienie, lecz intelektualny wybieg. Dla przeciwników była to po prostu naukowa wersja odpowiedzi „bo tak”.

I wtedy z odsieczą przybyła teoria wielu wszechświatów, znana szerzej jako multiwersum. Jeśli pojedynczy wszechświat to gra o astronomiczną stawkę, to multiwersum jest całym kasynem – nieskończoną liczbą prób, kombinacji i rozdań. W tej perspektywie fakt, że trafiliśmy akurat do tego jednego uniwersum, w którym można zjeść jabłko, napisać sonet i przeprowadzić operację na otwartym mózgu, przestaje wyglądać na kosmiczny cud. Staje się statystyczną nieuchronnością.

Max Tegmark, fizyk z MIT i czołowy orędownik tej koncepcji, ujął to dosadnie: „W multiwersum nie pytasz, dlaczego parametry są takie, jakie są. Pytasz, dlaczego jesteś akurat w tym wszechświecie, a nie w innym? Odpowiedź brzmi: bo w innych by cię nie było”.

Jesteśmy tu, ponieważ gdzie indziej nie moglibyśmy zaistnieć. To już nie jest zasada antropiczna w wersji słabej, to jej wersja turbo. To zasada antropiczna na sterydach teorii strun, rozciągnięta na nieskończonym płótnie możliwości, gdzie nasze istnienie jest jednym z dopuszczalnych wzorów.

W ramach tak zwanego krajobrazu teorii strun, czyli mapy wszystkich możliwych konfiguracji fizyki, szacuje się istnienie nawet 10^{10000} różnych wszechświatów. Każdy z nich ma własny zestaw stałych fizycznych i praw natury. A my, rzecz jasna, wygraliśmy los na tej kosmicznej loterii, trafiając do tego, w którym da się ugotować zupę i prowadzić seminaria z ontologii.

Teoria wielu światów: bariery weryfikacji empirycznej

No dobrze – powie sceptyk, odstawiając na chwilę herbatę – ale co z tego wszystkiego wynika? Czy teoria, której nie da się w żaden sposób przetestować, w ogóle zasługuje na miano naukowej, czy jest to już tylko elegancka opowieść na dobranoc dla fizyków? I tu na scenę wkracza epistemologia, czyli gałąź filozofii, która od wieków próbuje ustalić, czym jest wiedza, co możemy uznać za uzasadnione i jak odróżnić sensowne twierdzenie od spekulacji. W duchu Karla Poppera, który wyznaczył wyraźną granicę demarkacyjną, pytanie brzmi: czy zasada antropiczna i teoria multiwersum są falsyfikowalne? Czy można zaprojektować eksperyment, który mógłby je obalić? Odpowiedź jest kłopotliwa. Przynajmniej dziś – nie.

Niektórzy, jak filozof nauki Richard Dawid, sugerują jednak, że wielkie teorie fizyki zaczynają rządzić się innymi regułami, przekraczając klasyczne kryteria naukowości. Ich siła ma tkwić w wewnętrznej spójności, matematycznej elegancji i zdolności do wyjaśniania z poczuciem nieuchronności. Dawid pisze: „W przypadku teorii strun mamy do czynienia z sytuacją, w której sama niemożność znalezienia alternatywy może być postrzegana jako argument empiryczny”. To odwrócenie klasycznej logiki. Skoro nie dysponujemy lepszym wyjaśnieniem, to może właśnie to – nawet jeśli nieweryfikowalne w warunkach laboratoryjnych – stanowi jedyny sensowny sposób na uporządkowanie rzeczywistości.

Oczywiście nie brakuje głosów krytycznych. Lee Smolin, wspomniany już z lekką zgryźliwością, zarzuca zwolennikom zasady antropicznej ucieczkę w intelektualną rezygnację. Twierdzi on, że zamiast próbować zrozumieć, dlaczego Wszechświat jest taki, jaki jest, wielu fizyków zadowala się myślą, że gdzieś istnieje nieskończony zbiór wszechświatów z losowo dobranymi parametrami. „To nie wyjaśnienie. To rezygnacja” – kwituje Smolin. Czy zasada antropiczna wyjaśnia więc wszystko, czy może zupełnie nic? Pytanie pozostaje otwarte, dzieląc fizyków na dwa obozy.

Dla jednych jest to konieczna rama epistemologiczna, przypominająca, że każde nasze „dlaczego” zaczyna się od faktu, iż w ogóle istniejemy, by móc je zadać. Dla innych to filozoficzna bańka, w której błądzimy, bo po prostu nie mamy nic lepszego pod ręką. A może, jak żartobliwie podsumował fizyk John Barrow, zasada antropiczna to po prostu najdoskonalsze usprawiedliwienie dla naszej egzystencji, głosząca, że: „Wszechświat musi być taki, by istniały konferencje, na których naukowcy mogą się nawzajem przekonywać, że to wszystko ma sens”.

Strzałka termodynamiczna definiuje psychologiczny czas

W kosmologii Einsteina czas przestał być leniwą rzeką o jednym wspólnym nurcie. Zapomnijmy o uniwersalnej wstędze, na której można by zaznaczyć jedno „teraz” obowiązujące od Andromedy po naszą kuchnię. Każdy obserwator nosi przy sobie własny zegarek, a jego wskazówki poruszają się w unikalnym lokalnym rytmie. Dla astronauty, który spada na gwiazdę neutronową, jedna sekunda rozciąga się w wieczność, podczas gdy dla jego kolegi na odległej stacji kosmicznej jest zaledwie mgnieniem oka. Oto kosmos, w którym nas osadzono: miejsce, gdzie „teraz” jest kwestią umowy, a „przedtem” i „potem” zależą od tego, gdzie stoisz.

Jednak to nie względność czasu jest jego największą tajemnicą. Znacznie dziwniejszy jest fakt, że czas w ogóle płynie. I to uparcie w jedną stronę. Równania fundamentalnej fizyki działają równie dobrze do przodu, jak i wstecz; są idealnie symetryczne. Mimo to nasze życie przypomina film odtwarzany bez opcji przewijania do tyłu. Fizycy, próbując wyjaśnić tę egzystencjalną jednostronność, mówią o „strzałkach czasu” – kilku koncepcjach wskazujących ten sam nieodwracalny kierunek.

Najsłynniejsza z nich, strzałka termodynamiczna, jest w istocie miarą rosnącego nieporządku we Wszechświecie. Porcelanowy kubek stojący na stole reprezentuje stan uporządkowany; jego skorupy rozsypane na podłodze to chaos. Wszechświat zdaje się nieustannie dążyć do rozbicia tego kubka, a powód jest brutalnie statystyczny: istnieje nieporównywalnie więcej sposobów, by coś było zepsute, niż by było idealne. Druga zasada termodynamiki, która to opisuje, jest niemal metafizycznym dekretem: rzeczy psują się znacznie chętniej, niż się naprawiają. Brzmi znajomo, prawda?

Stephen Hawking posunął tę ideę dalej, sugerując, że ten sam wzrost nieporządku jest fundamentem naszej pamięci. Każdy bit informacji zapisany w komputerze nieznacznie zwiększa entropię otoczenia. Nasz mózg, tworząc wspomnienia, działa na tej samej zasadzie – pamiętamy przeszłość, a nie przyszłość, ponieważ każde wspomnienie jest termodynamiczną inwestycją w nieporządek. Gdyby Wszechświat zmierzał ku porządkowi, a entropia malała, teoretycznie moglibyśmy pamiętać przyszłe wydarzenia. Tak się jednak nie dzieje. Nasze życie pozostaje więc nieustannym marszem w jednym kierunku, a pamięć jest zapisem tej podróży. To golgota tylko w jedną stronę.

Wzrost entropii warunkuje proces zapamiętywania

Pierwsza z nich, strzałka termodynamiczna, jest zakorzeniona w drugiej zasadzie termodynamiki. Głosi ona, że entropia, czyli miara nieuporządkowania w układzie izolowanym, nigdy spontanicznie nie maleje.

Upuszczony na podłogę kubek rozpada się na setki kawałków, a układ cząsteczek szkła i powietrza zyskuje znacznie więcej możliwych konfiguracji niż wtedy, gdy naczynie stało nienaruszone na stole. Obserwujemy więc procesy nieodwracalne – to, co zniszczone, nie składa się samo z siebie z powrotem. Ludwig Boltzmann ujął to celnie, pisząc, że „entropia jest miarą naszej niewiedzy o stanie układu", wskazując tym samym, że strzałka czasu jest nierozerwalnie spleciona z probabilistycznym charakterem praw przyrody.

Druga strzałka, psychologiczna, odnosi się do naszego subiektywnego doświadczenia. Pamiętamy przeszłość, nigdy przyszłość, i odczuwamy nieustanny, jednokierunkowy przepływ teraźniejszości. Stephen Hawking zasugerował, że jest ona jedynie pochodną tej pierwszej, termodynamicznej. Aby bowiem zapisać jakąkolwiek informację – czy to w sieci neuronowej mózgu, czy na twardym dysku komputera – musimy zużyć energię, a tym samym zwiększyć globalny nieporządek we Wszechświecie. Każde wspomnienie, każdy ślad naszej tożsamości jest więc naznaczony piętnem rosnącej entropii. To niezwykle sugestywne powiązanie, które stawia psychologię i neurobiologię w ścisłym związku z fizyką statystyczną. Jak podsumował to noblista Ilya Prigogine: „strzałka czasu nie jest iluzją świadomości; to świadomość jest dzieckiem strzałki czasu".

Kontrakcja wszechświata nie odwraca biegu czasu

Trzecia strzałka, kosmologiczna, wydaje się echem największego ruchu, jaki znamy: ekspansji Wszechświata. Odkąd Edwin Hubble wykazał kosmiczną ucieczkę galaktyk, wiadomo, że sama przestrzeń się rozszerza. To zrodziło w umyśle Hawkinga przewrotne pytanie: czy gdyby Kosmos zahamował ekspansję i zaczął się kurczyć, czas również by zawrócił, a entropia zaczęła maleć? Początkowo intuicja podpowiadała mu, że tak. Jednak wspólne prace z Donem Page'em i Raymondem Laflamme'em zweryfikowały tę elegancką symetrię. Nawet podczas kosmicznego kolapsu nieporządek wciąż by wzrastał. Strzałka czasu nie jest więc zależna od losów Kosmosu – jest zakorzeniona w głębszych zasadach.

Osobliwości: kres stosowalności praw fizyki klasycznej

|be_thought|Historia badań nad początkiem Wszechświata jest w istocie historią intelektualnych zmagań z pojęciem osobliwości. W klasycznej ogólnej teorii względności Einsteina osobliwość to punkt, w którym mapa rzeczywistości się kończy; miejsce, gdzie krzywizna czasoprzestrzeni staje się nieskończona, a znane nam prawa fizyki bezradnie milkną. Oznacza to sytuację ostateczną: fizyka traci zdolność przewidywania, a matematyka sygnalizuje, że sam model uległ załamaniu. Wielki Wybuch byłby w tym ujęciu absolutnym początkiem – punktem, poza którym nie tylko nie było „niczego", ale samo pytanie o „przedtem" traciło jakikolwiek sens.

Dopiero rozwój astronomii XX wieku pozwolił tej abstrakcyjnej idei zejść na ziemię, a raczej wznieść się ku gwiazdom. W 1929 roku Edwin Hubble, obserwując odległe galaktyki, odkrył, że wszystkie uciekają, a ich światło jest rozciągnięte ku czerwieni. Wszechświat nie był zatem statycznym, wiecznym bytem, lecz dynamiczną, rozszerzającą się strukturą. Jeśli puścimy ten kosmiczny film od tyłu, zobaczymy, jak w przeszłości był on coraz mniejszy, gęstszy i gorętszy, aż w końcu cała jego materia i energia skupiły się w stanie o nieskończonej gęstości i temperaturze. To był początek czasu i przestrzeni – moment, w którym historia kosmosu w ogóle mogła się rozpocząć.

Równania Einsteina, rozwinięte przez Aleksandra Friedmanna, naszkicowały trzy możliwe scenariusze kosmologicznej przyszłości. W modelu zamkniętym ekspansja kiedyś się zatrzyma, a grawitacja ściągnie wszystko z powrotem do punktu o zerowym rozmiarze, prowadząc do powrotu do osobliwości, tym razem końcowej. W modelu otwartym ekspansja trwa wiecznie, a galaktyki oddalają się od siebie w nieskończoność. Model płaski, krytyczny, zakłada z kolei, że Wszechświat rozszerza się coraz wolniej, ale nigdy się nie zatrzymuje. Każdy z tych scenariuszy, niczym drogi prowadzące z Rzymu, wskazuje jednak na wspólny punkt wyjścia: chwilę, gdy odległość między dowolnymi punktami była zerowa.

Osobliwość Wielkiego Wybuchu nie była jednak jedynym tego typu potworem czającym się w równaniach Einsteina. Również czarne dziury, powstające w wyniku grawitacyjnego kolapsu masywnych gwiazd, zawierają w swoim sercu punkt, gdzie gęstość staje się nieskończona. Granicę tego obszaru stanowi horyzont zdarzeń – jednokierunkowa membrana, zza której nic, nawet światło, nie może uciec. Stephen Hawking i Roger Penrose dowiedli matematycznie, że osobliwości nie są jakimś patologicznym wyjątkiem, lecz nieuniknioną konsekwencją ogólnej teorii względności, o ile tylko materia spełnia rozsądne warunki energetyczne. W tym sensie osobliwości stały się integralną częścią logiki teorii.

Powstaje jednak fundamentalne pytanie: jak rozumieć miejsca, w których nasze najlepsze prawa fizyki kapitulują? Czy są to realne punkty w kosmosie, czy raczej sygnał, że nasza teoria jest niekompletna? Większość fizyków skłania się ku drugiej odpowiedzi. Osobliwość jest raczej granicą poznania niż bytu. To drogowskaz wskazujący na potrzebę głębszej, bardziej fundamentalnej teorii kwantowej grawitacji, która potrafiłaby opisać zjawiska w ekstremalnych warunkach, gdzie grawitacja i mechanika kwantowa muszą wreszcie zacząć ze sobą rozmawiać.

Problem ten odsłania także głębszy wymiar filozoficzny. Już święty Augustyn zauważył, że pytanie o to, co Bóg

Modele Friedmanna: trzy scenariusze ewolucji kosmosu

Zanim kosmiczna kurtyna opadnie, warto wiedzieć, że scenariusz końca oferuje trzy warianty: model zamknięty, w którym wszystko wraca do punktu wyjścia w Wielkim Kolapsie; otwarty, czyli niekończącą się ucieczkę w pustkę; oraz płaski – rozszerzanie zwalniające do tempa lodowca, ale nigdy nieustające. Wszystkie te wizje wyłoniły się z matematycznych rozwiązań ogólnej teorii względności, które już w 1922 roku zaproponował Aleksander Friedmann. Einstein, początkowo sceptyczny, ostatecznie przyznał mu rację, nazywając swój własny pomysł – tak zwaną stałą kosmologiczną – największą pomyłką w karierze. Wprowadził ją, by siłą uratować elegancki, statyczny Wszechświat; własnoręcznie wyprostował kosmos tylko po to, by za chwilę musieć go z powrotem zakrzywiać.

Czas urojony Hawkinga: eliminacja osobliwości

Kluczowym narzędziem okazała się tu koncepcja sumy po historiach, którą Richard Feynman obdarzył fizykę kwantową. Zgodnie z nią cząstka nie jest zdyscyplinowanym piechurem maszerującym po jednej, wyznaczonej trasie. Przeciwnie, bada wszystkie możliwe drogi jednocześnie, a to, co obserwujemy, jest jedynie probabilistyczną wypadkową tych niezliczonych podróży. Hawking dokonał tu skoku o skali kosmologicznej: potraktował cały wszechświat jak pojedynczy obiekt kwantowy, którego ewolucja jest sumą wszystkich możliwych historii czasoprzestrzeni.

Aby ominąć zdradliwe mielizny osobliwości, Hawking sięgnął po genialny wybieg: czas urojony. Matematycy od dawna posługują się liczbami zespolonymi, które obok części rzeczywistej mają też część urojoną, opartą na jednostce „i” – absurdalnym z pozoru pierwiastku z minus jeden. Hawking zapytał: A co, jeśli czas również potraktować jako wielkość „urojoną”? W takim ujęciu granica między czasem a przestrzenią zaciera się, a cała czasoprzestrzeń staje się gładką, czterowymiarową powierzchnią. W tej spokojnej, euklidesowej geometrii osobliwości tracą swój groźny, nieskończony charakter; stają się zaledwie punktami brzegowymi, które można opisać bez sięgania po matematyczny armagedon.

Hawking zilustrował to analogią do powierzchni Ziemi. Nasza planeta jest skończona, a jednak nie posiada krawędzi. Idąc uparcie na północ, dotrzemy do bieguna, ale nigdzie nie znajdziemy tabliczki z napisem „koniec świata”. Podobnie wszechświat opisany w języku czasu urojonego jest bytem skończonym, lecz pozbawionym granic i osobliwości. To elegancko usuwa pytanie o to, kto zapalił światło. Pytanie o to, co było „przed” Wielkim Wybuchem, staje się równie bezsensowne, jak pytanie o to, co leży kilometr na północ od bieguna północnego. Sam początek przestaje być gwałtowną wyrwą w prawach fizyki, a staje się po prostu gładkim punktem w strukturze kosmosu.

Warunek braku granic eliminuje moment stworzenia

Jednym z najśmielszych i najbardziej oryginalnych wkładów Stephena Hawkinga w kosmologię była propozycja, która radykalnie zmienia sposób postrzegania początku istnienia. Klasyczna ogólna teoria względności, choć potężna, załamuje się w obliczu osobliwości – punktów, w których gęstość i krzywizna czasoprzestrzeni dążą do nieskończoności, a znane prawa fizyki przestają obowiązywać. Hawking, zainspirowany mechaniką kwantową, postanowił poszukać wyjścia z tego teoretycznego impasu.

Narzędziem stała się koncepcja sumy po historiach, rozwinięta przez Richarda Feynmana. W tym ujęciu cząstka nie przemieszcza się z punktu A do punktu B jedną, ściśle wyznaczoną ścieżką, lecz eksploruje wszystkie możliwe trajektorie jednocześnie. Hawking przeniósł tę kwantową zasadę do skali kosmicznej, zakładając, że cały Wszechświat można potraktować jako obiekt kwantowy, którego ewolucja stanowi sumę prawdopodobieństw wszystkich możliwych historii czasoprzestrzeni. To już nie pojedynczy film, lecz cała biblioteka scenariuszy odgrywanych symultanicznie.

Aby jednak uniknąć problemu osobliwości, Hawking sięgnął po matematyczny zabieg: czas urojony. W matematyce liczby zespolone posiadają część urojoną, opartą na jednostce urojonej „i”, będącej pierwiastkiem z minus jeden. Analogicznie, w fizyce można przekształcić czas, mnożąc go przez tę samą jednostkę. Dzięki temu zabiegowi granica między czasem a przestrzenią zaciera się, a osobliwa czasoprzestrzeń staje się gładką, czterowymiarową powierzchnią. W tej nowej, euklidesowej geometrii osobliwości tracą swój nieskończony charakter; stają się po prostu punktami na mapie.

Hawking zilustrował to analogią do powierzchni Ziemi. Nasza planeta jest skończona, ale nie posiada krawędzi. Wędrując na północ, dotrzemy do bieguna, lecz nie znajdziemy tam granicy świata. Podobnie Wszechświat w opisie z czasem urojonym jest skończony, lecz pozbawiony granic i osobliwości. W takim modelu pytanie: „co było przed Wielkim Wybuchem?” staje się równie bezzasadne, jak pytanie: „co znajduje się na północ od bieguna północnego?”. Początek nie jest już gwałtownym załamaniem praw fizyki, lecz gładkim punktem geometrycznym w strukturze kosmosu.

Taki Wszechświat staje się bytem samowystarczalnym i domkniętym. Nie wymaga zewnętrznego impulsu ani aktu stworzenia. Jak ujął to Hawking podczas konferencji w Watykanie w 1981 roku, Wszechświat w modelu braku granic „nie jest ani stworzony, ani zniszczony” – on po prostu istnieje. Konsekwencje filozoficzne tej koncepcji są dalekosiężne. Jeśli kosmos nie wymaga początku w sensie metafizycznym, rola Boga jako pierwszej przyczyny zostaje podważona. Propozycja ta usuwa pytanie o to, kto zainicjował istnienie. Choć niektórzy odczytali to jako próbę wyeliminowania Stwórcy z równania, sam Hawking podkreślał, że jego celem nie była polemika teologiczna, lecz poszukiwanie kompletnej teorii przyrody.

Fluktuacje kwantowe: mechanizm powstawania galaktyk

Czas urojony rzuca też nowe światło na inflację kosmologiczną, czyli teorię Alana Gutha opisującą gwałtowną ekspansję Wszechświata w jego najwcześniejszej fazie. Warunek braku granic idealnie pasuje do tego scenariusza, sugerując, że Kosmos zaczął się w stanie maksymalnej gładkości, dopuszczalnej jedynie przez zasadę nieoznaczoności Heisenberga. Te mikroskopijne fluktuacje kwantowe, niczym drobne zmarszczki na idealnie gładkiej tafli, zostały następnie rozciągnięte przez inflację do astronomicznych rozmiarów. Stały się one zarodkami przyszłych struktur: galaktyk, gwiazd i planet, co oznacza, że nasze istnienie jest odległym echem kwantowej losowości.

Trzy wymiary przestrzenne: warunek stabilności orbit

Zasada antropiczna sięga jednak znacznie głębiej, dotykając samej architektury rzeczywistości. Teoria strun, w swojej matematycznej elegancji, postuluje istnienie dziesięciu, a nawet dwudziestu sześciu wymiarów, z których większość pozostaje zwinięta do mikroskopijnych rozmiarów. Dlaczego więc nasze doświadczenie ogranicza się do zaledwie trzech wymiarów przestrzennych i jednego czasowego? Odpowiedź jest chłodno pragmatyczna: ponieważ tylko w takiej konfiguracji fizyka pozwala na stabilne orbity planetarne i trwałe atomy. W czterech wymiarach przestrzennych planety spiralowałyby w stronę swoich słońc, a w dwóch – grawitacja nie miałaby dość swobody, by je w ogóle związać. Nawet sama scena, na której istniejemy, mogła więc przejść przez swoisty wszechświatowy casting na istnienie.

Teoria strun uzasadnia stosowanie zasady antropicznej

Wszechświat wydaje się być skalibrowany z precyzją, która wprawia w zakłopotanie. Weźmy tempo jego ekspansji tuż po Wielkim Wybuchu: gdyby było minimalnie wolniejsze, grawitacja zdusiłaby wszystko w zarodku, zwijając kosmos w gęstą kulę materii, zanim zdążyłaby zapłonąć pierwsza gwiazda. Gdyby z kolei było odrobinę szybsze, materia rozproszyłaby się tak bardzo, że nigdy nie zdołałaby uformować galaktyk, planet czy czegokolwiek trwałego. W obu scenariuszach życie, jakie znamy, nie miałoby szansy zaistnieć. Podobne, niemal cudowne dostrojenie dotyczy relacji między fundamentalnymi siłami natury. Wystarczyłaby kosmetyczna zmiana w sile elektromagnetycznej, grawitacyjnej czy jądrowej, by zniszczyć delikatną równowagę pozwalającą na istnienie stabilnych atomów węgla – podstawowej cegiełki chemii organicznej.

To stawia nas przed fundamentalnym pytaniem: czy ta precyzja jest dowodem na istnienie jakiegoś planu, czy raczej statystyczną konsekwencją ogromu możliwości? Hawking zdecydowanie skłaniał się ku drugiemu

wyjaśnieniu. W ramach teorii strun i kosmologii inflacyjnej narodziła się bowiem koncepcja multiwersum – zbioru niezliczonych wszechświatów, z których każdy losuje własny zestaw praw fizyki i stałych fundamentalnych. W tej perspektywie wszechświat staje się czymś w rodzaju kosmicznej selekcji do istnienia. Nie ma nic dziwnego w tym, że żyjemy akurat w tym jednym, który pozwala na świadomość, podobnie jak nie dziwi nas, że wędrując po pustyni, znajdujemy życie w oazie, a nie na bezkresnym piasku. Po prostu tylko w oazie możemy się zatrzymać, by zadać sobie to pytanie.

W ramach teorii strun i kosmologii inflacyjnej narodziła się bowiem koncepcja multiwersum – zbioru niezliczonych wszechświatów, z których każdy losuje własny zestaw praw fizyki i stałych fundamentalnych. W tej perspektywie wszechświat staje się czymś w rodzaju kosmicznej selekcji do istnienia. Nie ma nic dziwnego w tym, że żyjemy akurat w tym jednym, który pozwala na świadomość, podobnie jak nie dziwi nas, że wędrując po pustyni, znajdujemy życie w oazie, a nie na bezkresnym piasku. Po prostu tylko w oazie możemy się zatrzymać, by zadać sobie to pytanie.

Inspiracje

[1] **"The theory of everything"** Stephen W. Hawking

2002 | New Millennium Press

Stephen Hawking (1942-2018) był brytyjskim fizykiem teoretycznym i kosmologiem. Wniósł znaczący wkład w zrozumienie czarnych dziur i Wielkiego Wybuchu. Hawking był profesorem matematyki im. Lucasa na Uniwersytecie Cambridge i autorem książek popularnonaukowych, takich jak „Krótka historia czasu".

Stephen Hawking (1942-2018) was a British theoretical physicist and cosmologist. He made significant contributions to understanding black holes and the Big Bang. Hawking was the Lucasian Professor of Mathematics at Cambridge, and authored popular science books like 'A Brief History of Time'.

University of Cambridge

Literatura uzupełniająca

Książki

Autorzy przywoływani w artykule:

[1] **"A Brief History of Time"**

Stephen W. Hawking

1988 | Bantam Books

[2] **"The Universe in a Nutshell"**

Stephen W. Hawking

2001 | Bantam Books

[3] **"Black Holes and Baby Universes and Other Essays"**

Stephen W. Hawking

1993 | Bantam Books

Literatura pokrewna (Google Scholar):

[4] **"Gravitation in astrophysics, Cargese, 1986"**

Brandon Carter

1987 | Plenum Press

[5] **"The Open Society and Its Enemies"**

Karl Popper

1945 | G. Routledge & Sons

[6] **"Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe"**

Lee Smolin

2013

Artykuły naukowe

Autorzy przywoływani:

[1] **"Finite-time Cosmological Singularities and the Possible Fate of the Universe"**

Jaume de Haro, Shin'ichi Nojiri, S. D. Odintsov, V. K. Oikonomou, Supriya Pan

2023 | arXiv

Google Scholar

[2] **"Global structure of the Kerr family of gravitational fields"**

Brandon Carter

1968 | Physical Review

[3] **"An axisymmetric black hole has only two degrees of freedom"**

Brandon Carter

1971 | Physical Review Letters

[4] **"The Anthropic Principle Is Testable And Appears Weak"**

Stuart Kauffman

2022 | arXiv

Google Scholar

[5] **"Search for Artificial Stellar Sources of Infrared Radiation"**

Freeman Dyson

1960 | Science

[6] **"Energy in the Universe"**

Freeman Dyson

1971 | Scientific American

[7] **"Parallel Universes"**

Max Tegmark

2003 | Scientific American

Google Scholar

[8] **"How unitary cosmology generalizes thermodynamics and solves the inflationary entropy problem"**

Max Tegmark

2012

Google Scholar

[9] **"Review of Recent (2015–2024) Popular Entropy Definitions Applied to Physiological Signals"**

Multiple Authors

2025 | Entropy

Google Scholar

[10] **"On the problem of demarcation between science and metaphysics"**

Karl Popper

1963 | Conjectures and Refutations

[11] **"The Propensity Interpretation of Probability"**

Karl Popper

1959

[12] **"Scientific realism in string theory"**

Richard Dawid

2007 | Philosophy of Science

Google Scholar

[13] **"Scientific alternatives to the anthropic principle"**

Lee Smolin

2004 | arXiv

Google Scholar

[14] **"Testing the Anthropic Principle: A Critical Evaluation of Cosmological Evidence"**

Boris (Bruce) Kriger

2024 | GLOBAL SCIENCE NEWS

Google Scholar

[15] **"The anthropic principle and the duration of the cosmological past"**

M. Ćirković, John D. Barrow

2004 | Astronomical & Astrophysical Transactions

Google Scholar

[16] **"The beginning of the end of the anthropic principle"**

G. Kane, M. Perry, A. Żytkow, John D. Barrow

2000 | New Astronomy

Google Scholar

[17] **"Cosmological Considerations in the General Theory of Relativity"**

Albert Einstein

1917 | Preussische Akademie der Wissenschaften

[18] **"Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie"**

Albert Einstein

1931

[19] **"On the Relationship between the Second Fundamental Theorem of the Mechanical Theory of Heat and Probability Calculations Regarding the Conditions for Thermal Equilibrium"**

Ludwig Boltzmann

1877 | Sitzungberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften

Google Scholar

[20] **"Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen"**

Ludwig Boltzmann

1872 | Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften

[21] **"Non-equilibrium statistical mechanics"**

Ilya Prigogine

1962 | Interscience Publishers

[22] **"Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations"**

P. Glansdorff, I. Prigogine

1971 | Wiley

[23] **"A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae"**

Edwin Hubble

1929 | Proceedings of the National Academy of Sciences

Google Scholar

[24] **"Mass-to-Horizon Entropic Cosmology: A Unified Thermodynamic Pathway to Cosmic Acceleration"**

Javiera Rey, Eleonora Di Valentino, Olga Mena

2025 | arXiv

Google Scholar

[25] **"Will Entropy Decrease if the Universe Recollapses?"**

Don N. Page

1985 | Phys. Rev. D

[26] **"Harmony for 2-Qubit Entanglement"**

Kento Osuga, Don N. Page

2019

Google Scholar

[27] **"Different aspects of entropic cosmology"**

S. Nojiri, S. Odintsov, Tanmoy Paul

2024 | arXiv

Google Scholar

[28] **"Perfect quantum error-correcting code"**

Raymond Laflamme, Cesar Miquel, Juan Pablo Paz, Wojciech H. Zurek

1996 | Physical Review Letters

Google Scholar

[29] **"The Instability of Charged Black Strings and p-Branes"**

Ruth Gregory, Raymond Laflamme

1994 | Nuclear Physics B

Google Scholar

[30] **"Quantum computational advantage via high-dimensional encoding"**

D. Su, S. Bravyi, J. M. Chow, R. de Sousa, A. D. Corcoles

2017 | Physical Review A

Google Scholar

[31] **"Über die Krümmung des Raumes"**

A. Friedmann

1922 | Zeitschrift für Physik

[32] **"Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes"**

A. Friedmann

1924 | Zeitschrift für Physik

[33] **"New entropy, thermodynamics of apparent horizon and cosmology"**

S. I. Kruglov

2025 | arXiv

Google Scholar

[34] **"Gravitational Collapse and Space-Time Singularities"**

Roger Penrose

1965 | Physical Review Letters

Google Scholar

[35] **"Singularities and time-asymmetry"**

R. Penrose

LSE

Google Scholar

[36] **"Recent advances in cosmological singularities"**

Oem Trivedi

2023 | Symmetry

Google Scholar

[37] **"A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s"**

A. A. Penzias, R. W. Wilson

1965 | Astrophysical Journal

[38] **"Carbon monoxide in the Orion Nebula"**

R. W. Wilson, K. Jefferts, A. A. Penzias

1970 | Astrophysical Journal

[39] **"Atomic Carbon Observations of Southern Hemisphere H II Regions"**

Maohai Huang, T. M. Bania, Alberto D. Bolatto, Robert W. Wilson, et al.

2009 | The Astrophysical Journal

Google Scholar

[40] **"Tracing Out the Universe: No Boundary Condition for the Density Matrix"**

Andreas Albrecht, Arthur Hebecker, Joao Pedro Pinto-Neto, Lucas Pinheiro, Marco Schillo

2024 | arXiv

Google Scholar

[41] **"The anthropic principle and the structure of the physical world"**

Bernard J. Carr, Martin J. Rees

1979 | Nature

Google Scholar

[42] **"Cosmology and High Energy Astrophysics: A 50 year Perspective on Personality, Progress, and Prospects"**

Martin Rees

2022 | Annual Review of Astronomy and Astrophysics

[43] **"Space-Time Approach to Non-Relativistic Quantum Mechanics"**

Richard Feynman

1948 | Reviews of Modern Physics

[44] **"The Theory of Positrons"**

Richard Feynman

1949 | Physical Review

[45] **"Imaginary Time and the Arrow of Time: Interplay Between Relativity and Quantum Mechanics"**

Wen-Xiang Chen

2025

Google Scholar

[46] **"Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems"**

Alan H. Guth

1981 | Physical Review D

Google Scholar

[47] **"Quantum-mechanical reinterpretation of kinematic and mechanical relations"**

Werner Heisenberg

1925 | Zeitschrift für Physik

[48] **"Zur Quantenmechanik"**

M. Born, W. Heisenberg, P. Jordan

1926 | Zeitschrift für Physik

Artykuły pokrewne (Google Scholar):

[49] **"Singularities in Collapsing Stars and Expanding Universes"**

Stephen W. Hawking

1966 | Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences

[50] **"Black hole explosions?"**

Stephen W. Hawking

1974 | Nature

[51] **"The Anisotropy of the Universe at Large Times"**

Stephen W. Hawking

1969 | Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

APA ONE Publishing System

Fundacja Dobre Państwo © 2026

Article ID: 01a7bafe-ea7e-495f-b3d6-dcf1952dd912