

Złożoność wyjaśniona. Część 7

Autor tekstu: **Vinod K. Wadhawan**

Tłumaczenie: **Małgorzata Koraszewska**

Złożoność kosmicznej ewolucji

Uważa się, że nasz wszechświat zaczął się Wielkim Wybuchem 10-15 miliardów lat temu. Jego złożoność w owym momencie i w chwilę potem była niemal zerowa. Dlaczego więc i w jaki sposób wzrastała kosmiczna złożoność? W istocie wzrasta ona w wykładniczym tempie. Wyjaśnienie można w ostatecznym rachunku prześledzić do tego, że wszechświat przez cały czas rozszerza się.



7.1 Mechanika kwantowa

Wszystkimi zjawiskami rządzą prawa mechaniki kwantowej. Teoria kwantowa jest zadziwiająco skuteczna w wyjaśnianiu olbrzymiego wachlarza obserwacji. Jest także bardzo *sprzeczna z intuicją*. Akceptujemy ją, ponieważ nie ma lepszej teorii do zrozumienia zjawisk naturalnych. W każdym razie nie ma powodu, dla którego prawa Natury nie miałyby być sprzeczne z ludzką intuicją. Nie ma w nas niczego specjalnego poza tym, że posiadamy inteligencję i świadomość. W historii kosmosu wyłoniliśmy się na scenie *bardzo* niedawno, podczas gdy prawa Natury były tam cały czas.

Mikroskop elektronowy dostarcza dobrego przykładu sprzecznego z intuicją zachowania cząstek elementarnych, takich jak elektrony. Rozważmy najpierw tradycyjny mikroskop optyczny, którego używamy do uzyskania powiększonego obrazu małych obiektów. Nie możemy obserwować obiektu w całkowitych ciemnościach, musimy więc rzucić na niego trochę światła. Obiekt rozprasza światło we wszystkich kierunkach. Wzór rozproszonego światła niesie informację o kształcie i innych własnościach obiektu. Soczewka mikroskopu przechwytuje część tego rozchodzącego się, rozproszonego światła. Soczewka wygina fale rozproszonego światła tak, że mogą one rekombinować lub „interferować” ze sobą i tworzyć obraz obiektu w tak zwanej „płaszczyźnie obrazu”, umieszczonej między soczewką i jej punktem ogniskowym.

Załóżmy, że chcemy powiększać „zdolność rozdzielczą” mikroskopu optycznego. To jest, chcemy — kiedy dwie cząstki są umiejscowione bardzo blisko siebie — nadal widzieć je jako odrębne na obrazie dawanym przez mikroskop. Naturalnie, istotna staje się kwestia długości fal światła używanego do oświetlenia obiektu. Im mniejsza długość fali, tym większa moc rozdzielcza. Ale jak małą długość fali możemy użyć i nadal uzyskać obraz obiektu? Istnieje praktyczna granica. Przypuśćmy, że do oświetlenia obiektu chcemy użyć promieni rentgena zamiast widzialnego światła. Zarówno promienie rentgena, jak i widzialne światło są promieniowaniem elektromagnetycznym; różnią się tylko długością fal, przy czym promienie rentgena są zwykle 5 tysięcy razy krótsze niż te w widzialnej części spektrum elektromagnetycznego. Przedstawia to poważną trudność praktyczną. Nie jest możliwe (a przynajmniej nie jest łatwe) znalezienie soczewki, która może wystarczająco zakrzywiać promienie rentgena, by spotkały się, interferowały i stworzyły obraz. Łatwiej jest rozwiązać ten problem używając elektronów zamiast widzialnego promieniowania.

Tak, elektronów. Istnieje odwrotny związek między prędkością elektronu i skojarzoną z nim długością fali. Elektrony są naładowanymi cząstkami i możemy użyć pól elektrycznych, by przyspieszyć je do wysokich prędkości z odpowiednio krótką długością fali. Ale co z soczewką potrzebną do zakrzywienia elektronów prędkich, kiedy zostały rozproszone przez obiekt, który chcemy obejrzeć? Żaden problem; użyj po prostu pól elektrycznych do zakrzywania. To wszystko istotnie dzieje się w mikroskopie elektronowym. Fakt, że mikroskop elektronowy jest realnością, jest dowodem, że ta linia rozumowania musi być poprawna.

Tak więc elektron w ruchu ma związaną z nim długość fali. Ale elektron jest także cząstką z określoną „masą spoczynkową”. Ten *dualizm fali-cząstki*, choć sprzeczny z intuicją, jest ważną cechą teorii kwantowej. Podobnie, wiązka światła (w rzeczywistości, promieniowanie o każdej długości fal) nie jest tylko falą, ale ma także aspekt cząstkowy. Cząstki (lub *kwanty*) światła nazywane są *fotonami*. Co ciekawe, Einstein otrzymał Nagrodę Nobla nie za swoją pracę o teorii względności, ale za pracę, która potwierdziła cząstkową naturę promieniowania.



Fala nie jest czymś, co można określić w kategoriach lokalizacji w punkcie w przestrzeni (inaczej niż cząstka). Fala ma charakter *nielokalny* z amplitudą i fazą w każdym punkcie przestrzeni. Prowadzi to do drugiego sprzecznego z intuicją aspektu mechaniki kwantowej: ponieważ cząstka ma także aspekt fali, *może być wszędzie w przestrzeni* (oczywiście, z różnym prawdopodobieństwem). Tak więc nie możemy z całą pewnością określić pozycji cząstki. Ten wniosek stanowi cios dla tradycyjnego poglądu na rzeczy (mechaniki klasycznej). Mechanika klasyczna może być *deterministyczna*, ale mechanika kwantowa nie może. W klasycznej (newtonowskiej) mechanice nie tylko można określić z nieskończoną precyzją pozycję i pęd cząstki, ale można także ustalić (dzięki równaniom ruchu) pozycję i pęd tej cząstki w dowolnym czasie w przyszłości i w przeszłości. *Kwantowa nieoznaczoność* jest przedmiotem wielu dyskusji filozoficznych. W mechanice kwantowej możemy mówić tylko w kategoriach *prawdopodobieństwa*, nie zaś pewności.

7.2 Zasada nieoznaczoności Heisenberga

Powróćmy do problemu konieczności rzucenia jakiegoś sondującego promieniowania (fotonów, elektronów lub czegośkolwiek) na obiekt, żeby go zobaczyć. Kwant sondującego promieniowania ma pewien pęd i energię, a więc *zakłóca* to, co próbujemy obserwować, kiedy się od niego odbija. Jest to doprawdy niedobra sytuacja, ale całkowicie nieunikniona. Akt obserwacji obiektu zakłóca go.

A jak duże jest to zakłócenie? By odpowiedzieć na to pytanie, odejźmy od mikroskopu i powiedzmy, że chcemy ustalić zarówno pozycję, *jak i* pęd obiektu. Jako prosty przypadek załóżmy, że obiekt jest w stanie spoczynku, a więc jego pęd wynosi zero. Akt uderzenia go choćby jednym kwantem (np. fotonem) nada mu pewien pęd i zakłóci także jego początkową pozycję. Załóżmy, że chcemy bardzo dokładnie określić tę pozycję. Wymagałoby to fotonu o bardzo małej długości fali. Ale taki foton ma więcej energii w porównaniu z fotonem o większej długości fali, a więc zakłócenie lub nieoznaczoność pędu będzie większa. Odwrotność także jest prawdą: jeśli próbujemy zredukować nieoznaczoność naszej wiedzy o pędzie przez użycie sondy o większej długości fali, zwiększy się nieoznaczoność pomiaru pozycji. Ta wymiana między nieoznaczonością pozycji i nieoznaczonością pędu jest elegancko uchwycona w słynnej zasadzie nieoznaczoności Heisenberga w mechanice kwantowej. Mówi ona, że istnieje dolna granica nieoznaczoności, przy której możemy określić *zarówno* pozycję, *jak i* pęd cząstki. Załóżmy, że niepewność pozycji wynosi Δx , a niepewność pędu Δp_x , iloczyn $\Delta x \cdot \Delta p_x$ musi zawsze być większy niż mała, ale niezerowa wartość uniwersalna. Niepewności pozycji i pędu oznaczają, że mogą zdarzyć się nieprzewidywalne *fluktuacje kwantowe* ich wartości w granicach wyznaczonych przez zasadę Heisenberga.



Nieoznaczoność mechaniki kwantowej staje się dominującym efektem tylko wtedy, kiedy mamy do czynienia z bardzo małymi rozmiarami i masami. Jeśli mamy do czynienia z ciężkimi obiektami, to *normalnie* będą one miały również duże rozmiary. Dlatego też bombardowanie ich kilkoma fotonami, by ustalić ich pozycję i pęd, nie spowoduje żadnych zakłóceń w wartościach tych parametrów. Jest to jeden z przykładów, jak mechanika kwantowa gładko zlewa się z mechaniką klasyczną, kiedy mamy do czynienia z makroskopowymi obiektami codziennego życia.

7.3 Nasz wszechświat

Istnieją konkurujące teorie o pochodzeniu naszego wszechświata i o tym, czy rzeczywiście ma on początek i koniec. W latach 1920. Edwin Hubble dokonał kluczowej obserwacji, że wszechświat rozszerza się. Oznaczało to, że jeśli wyobrazimy sobie odwrócenie czasu, musiał być moment, kiedy cała zawartość wszechświata była w jednym miejscu, tak zwana "*osobliwość*". W tym momencie zdarzył się tak zwany Wielki Wybuch i od tego czasu wszechświat się rozszerza. Teorię Wielkiego Wybuchu zaproponował w 1930 r. Georges Lemaître i rozwinęli ją inni fizycy, zwłaszcza George Gamow. Teoria ta implikuje, że wszechświat miał określony początek i ma skończony wiek.

Fred Hoyle, Hermann Bondi, Thomas Gold i Jayant Narlikar w 1948 r. sformułowali alternatywną teorię „Stanu Stacjonarnego” wszechświata. Teoria ta implikuje nieskończony wiek wszechświata, bez żadnego „początku”. Naukowcy z Bell Labs, Arno Penzias i Robert Wilson odkryli w 1965 r. *kosmiczne promieniowanie relikowe*, które przewidział Gamow jako konsekwencję

modelu Wielkiego Wybuchu. Zaobserwowanie tego promieniowania, pozostałości wczesnego wszechświata, wymierzyło cios w model Stanu Stacjonarnego wszechświata. Nie powiedziano jednak jeszcze ostatniego słowa o tym, co jest poprawnym modelem wszechświata. Model Stanu Stacjonarnego wszechświata ma wiele wad.

Dwoma filarami współczesnej fizyki są teoria kwantowa i ogólna teoria względności. Mechanika kwantowa odnosi niezwykle sukcesy w rozumieniu fizyki bardzo małych obiektów (jak elektrony), a ogólna teoria względności zajmuje się bardzo dużymi odległościami i masami, dla których grawitacja staje się dominującą interakcją. Isaac Newton pierwszy zrozumiał grawitację jak siłę przyciągania między ciałami, która zależy od ich masy i odległości między nimi. Ogólna teoria względności Einsteina rozszerzyła teorię Newtona. Ta nowa teoria traktowała grawitację raczej jak odkształcenie przestrzeni niż jak siłę między ciałami.

Moment Wielkiego Wybuchu był osobliwością, ponieważ dotyczył bardzo małego wymiaru i bardzo dużych sił grawitacyjnych. Tak więc dobra teoria wyjaśniająca ten scenariusz musi połączyć mechanikę kwantową z ogólną teorią względności. Innym słowy, potrzebujemy teorii *grawitacji kwantowej*. Taka teoria ciągle nam umyka, chociaż nastąpił znaczny postęp dzięki pracom Stephena Hawkinga i innych. Jak argumentowali Hawking i Penrose, ogólna teoria względności Einsteina jest tylko niepełną teorią. Nie potrafi powiedzieć nam jak zaczął się wszechświat, ponieważ przewiduje, że wszystkie teorie fizyczne, włącznie z nią samą, załamują się na początku wszechświata.

Hawking wysunął ideę „wszechświata bez granic”, jak omawiał w niefachowym języku w swojej słynnej książce *Wszechświat w skorupce orzecha*. W trójwymiarowej przestrzeni powierzchnia kuli jest dobrym przykładem „wszechświata” bez granic z punktu widzenia istoty ograniczonej tylko do powierzchni kuli; nie ma żadnego początku ani końca powierzchni kuli. Jak pisze Hawking: „Jest, być może, ironią, że zmieniając zdanie, próbuję teraz przekonać innych fizyków, iż w rzeczywistości nie było żadnej osobliwości na początku wszechświata — jak zobaczymy później, może ona zniknąć, kiedy bierze się pod uwagę efekty kwantowe”. W modelu Hartle-Hawkinga wszechświat jest skończony, ale nie ma żadnej granicy w *urojonym czasie*. Urojony czas jest czasem realnym pomnożonym przez pierwiastek kwadratowy z minus jeden $(-1)^{1/2}$. Faktycznie niewyobrażalne.

7.4 Wielki Wybuch

Osobliwość w momencie Wielkiego Wybuchu miała tak małe wymiary przestrzenne, że całkowicie dominowały efekty mechaniki kwantowej ogólnie, a zasady nieoznaczoności Heisenberga szczególnie. Istnieje pogląd, że wszechświat narodził się z fluktuacji kwantowej. Fluktuacja kwantowa w pędzie (Δp) lub energia kinetyczna dozwolona przez zasadę Heisenberga (z powodu znikomo małych wymiarów przestrzennych Δx w momencie osobliwości) była wystarczająco duża, by wyjaśnić niezmierną ilość energii we wszechświecie. Przestrzeń i czas były silnie skrzywione na początku. Sama przestrzeń eksplodowała, a jej dynamikę dla późniejszych momentów czasu wyjaśniły geometryczne prawa ogólnej względności Einsteina.

Jak energia może powstać z niczego i w jaki sposób ciągle wzrasta, kiedy wszechświat rozszerza się? Jestem tutaj na niepewnym gruncie, ponieważ eksperci jeszcze nie zgodzili się co do tego, co się naprawdę zdarzyło. Niezależnie od tego, co powiedziałem powyżej, (a co może być sporne) oto możliwa odpowiedź dana przez Seta Lloyd (2006) w książce *Programming the Universe*: „Mechanika kwantowa opisuje energię w kategoriach pól kwantowych, rodzaju leżącej u podstaw tkaniny wszechświata, której splot składa się z cząstek elementarnych - fotonów, elektronów, kwarków. Energia, która widzimy wokół nas — w postaci Ziemi, gwiazd, światła, ciepła — została wyciągnięta z leżących u podstaw pól kwantowych przez rozszerzanie się naszego wszechświata. Grawitacja jest siłą przyciągania, która ściąga rzeczy razem... W miarę rozszerzania się wszechświata (co nadal się dzieje) grawitacja wysysa energię z pól kwantowych. Energia w polach kwantowych jest niemal zawsze dodatnia i ta dodatnia energia jest dokładnie równoważona przez ujemną energię grawitacyjnego przyciągania. W miarę postępującego rozszerzania się dostępne jest coraz więcej energii dodatniej w postaci materii i światła — kompensowane przez energię ujemną w przyciągającej sile pola grawitacyjnego”. Lloyd podkreśla komplementarne role energii i informacji w kosmicznej ewolucji złożoności: „Energia powoduje, że układy fizyczne robią rzeczy. Informacja mówi im, co robić”.

7.5 Natura nie znosi gradientów

Dla zrozumienia kosmicznej ewolucji złożoności pomocne jest zapamiętanie faktu, że „Natura

nie znosi gradientów". Zazwyczaj nie jest to stwierdzane jako prawo nauki, ale jest to wyraźną konsekwencją „oficjalnych” zasad termodynamiki. Daje to inną perspektywę na pytanie, dlaczego zachodzi postęp ewolucyjny. Wszyscy wiemy, jak trudno jest utrzymać próżnię w naczyniu. Natura nie znosi próżni i zapełnia pustą przestrzeń dowolną cząstką, która znajdzie się w pobliżu. Naprawdę dzieje się to, że istnieje tam gradient ciśnienia i ten gradient zostaje zniszczony w nieodwracalny sposób, zgodnie z drugą zasadą termodynamiki. W rzeczywistości sama druga zasada nie jest niczym innym jak stwierdzeniem o spontanicznej destrukcji gradientów takich jak gradienty termalne, gradienty ciśnienia, gradienty koncentracji itd.

Możemy więc uogólnić i powiedzieć, że Natura nie znosi wszelkiego typu gradientów. W szczególności należy zauważyć, że kiedy system zostaje odepchnięty od stanu równowagi termodynamicznej przez dopływ energii i/lub materii, tworzy się gradient. Jak omawiałem w [Części 3](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6885) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6885>) i [Części 6](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6942) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6942>), jeśli odejście od równowagi nie jest zbyt duże, Natura przywraca równowagę niszcząc gradient. Jeśli jednak odejście od równowagi jest zbyt duże, wówczas układ nie jest w stanie powrócić do starej konfiguracji równowagi i musi szukać nowego stabilnego stanu lub stanu równowagi. Co więcej, ponieważ odejście od równowagi jest duże, układ ma tendencję do znajdowania *bardziej skutecznych* sposobów niszczenia gradientów, a z tego wynika tworzenie się wzorów i emergentnych zjawisk lub struktur, tak charakterystycznych dla złożoności. Pomyśl tylko o wirze lub, jeśli znasz te sprawy, o regularnym wzorze tworzonym przez tak zwaną niestabilność Bénarda.

7.6 Kosmiczna ewolucja złożoności

Chaisson (2001) identyfikuje trzy ery w kosmicznej ewolucji złożoności. Na początku było tylko promieniowanie z tak wysoką gęstością energii, że w zasadzie we wszechświecie nie było żadnej struktury ani treści informacyjnej; była to czysta energia. W miarę jak wszechświat ochładzał się i rozcieńczał zaszła istna przemiana fazowa lub bifurkacja w trajektorii faza-przestrzeń, w wyniku czego wyłoniła się materia współistniejąca z promieniowaniem. To zaznaczyło początek drugiej ery, w której wysoki odsetek energii zawarł się w materii zamiast w promieniowaniu. Trzecią erę zwiastowało pojawienie się *„technologicznie manipulujących istot”*.

Gdy po Wielkim Wybuchu rozszerzała się bardzo gorąca plazma, równocześnie ochładzała się. Temperatura wynosiła $\sim 10^{32}\text{K}$ w 10^{-43} sekundy po Wielkim Wybuchu. Na tym etapie pojawiła się grawitacja. Około 10^{-34} sekundy później temperatura wynosiła $\sim 10^{27}\text{K}$ i pojawiła się materia w postaci kwarków, leptonów, bozonów i kilku innych cząstek elementarnych. Pojawiła się także „antymateria”. *Pojawienie się materii można przypisać fluktuacjom kwantowym gęstości wszechświata, wzmocnionymi przez efekty grawitacji*. Nawet maleńki wzrost lokalnej gęstości mógł przyciągnąć ku sobie więcej materii z odpowiednim obniżeniem otaczającej gęstości.

Około 10^{-10} sekund później elektroslaba interakcja podzieliła się na elektromagnetyczną interakcję i słabą interakcję (*kolejne łamiące symetrię przejście fazowe lub bifurkacja, jak tyle innych w ewolucji kosmicznej, z towarzyszącym wzrostem stopnia złożoności*). Temperatura około 10^{-512}K . To wtedy kwarki stworzyły protony i neutrony, antykwarki stworzyły antyprotony. Kolizje między protonami i antyprotonami pozostawiły głównie protony, jak również fotony. Mniej więcej sekundę później zaszły kolizje między elektronami i pozytronami, zostawiając głównie pozytrony. Mniej więcej kolejną sekundę później, przy temperaturze $\sim 10^9\text{K}$, neutrony i protony mogły się złączyć, tworząc jądra takie jak te w helu, litie oraz (ciężkich) izotopach wodoru. Sekundy później temperatura spadła do ~ 10 .

Mniej więcej dziesięć milionów lat po Wielkim Wybuchu zaszło wystarczające ochłodzenie, by wypełnić wszechświat mgiełką cząstek, zawierających głównie wodór i trochę helu, jak również pewne cząstki elementarne włącznie z neutrino, nieco elektromagnetycznego promieniowania i być może jakieś inne, nieznanne cząstki. Wszechświat na tym etapie był zimny, ciemny i bezkształtny. Wtedy jakieś pierwotne, kwantowo-mechaniczne fluktuacje w gęstościach cząstek spowodowały zbijanie się niektórych cząstek, dość podobnie do enukleacji, która poprzedza powstanie kryształu z płynu. Obecność takich zbitych cząstek nagle uwidoczniła siły grawitacyjne, prowadząc do efektu kaskadowego. Części mgły zaczęły zapadać się w olbrzymie kłębiące się chmury. W ciągu kilkuset milionów lat uformowały się i zaczęły świecić olbrzymie galaktyki, każda zawierająca miliardy młodych gwiazd rozmaitych rozmiarów. Zniknęła bezkształtna ciemność początkowego okresu.

Wielkie gwiazdy między nimi były silnie jaśniejącymi kulami, a ta jasność pochodziła z fuzji wodoru i helu w ich wnętrzu, co umożliwiły panujące tam ekstremalne temperatury i ciśnienie. W ten sposób we wnętrzu tych dużych gwiazd powstały cięższe pierwiastki. Wyłanianie się cięższych

pierwiastków w procesie fuzji jądrowej trwało *do początków formowania się żelaza*. Jądro żelaza jest z nich wszystkich najbardziej stabilne. Żelazo nie może zlać się z jednym lub więcej nukleonami i uwolnić radiacyjną energię fuzji jądrowej. Jego obecność działa jak *truczyna* na proces fuzji jądrowej. Tak więc pojawienie się żelaza oznaczało początek końca dostępnego paliwa jądrowego i dlatego też koniec życia gwiazdy. W odpowiednim czasie mniejsze gwiazdy po prostu przestawały świecić, kurcząc się w zimne i martwe byty.

Większe gwiazdy oczekiwał jednak bardzo odmienny los. Niezdolne dłużej do podtrzymywania swoich rozmiarów z powodu stopniowo malejących procesów fuzji jądrowej pierwiastków, zaczęły zapadać się pod niezmierną siłą grawitacyjną. W ich wnętrzu zaszła nagła zmiana. Pod olbrzymim naciskiem tworzonym przez kolaps grawitacyjny, rdzenie atomów żelaza implodowały. Z tego wynikł nowy stan materii, kiedy elektrony i protony w atomach zostały ściśnięte razem. Dominującym procesem interakcji była teraz elektroslaba interakcja, w której protony i elektrony reagowały wytwarzaniem neutronów i elektronów neutrino. Kolaps prowadził do kompresji gwiazdy w skrajnie gęstą kulę czystej materii neutronowej. Równocześnie wybuchła chmura neutrino, powodując eksplozję (*eksplozję supernowej*) z zewnętrznej skorupy gwiazdy. W ten sposób nowo zsyntetyzowane pierwiastki (aż do żelaza) znajdujące się w zewnętrznej warstwie gwiazdy, były rozrzucone we wszechświecie w towarzystwie jaskrawego błysku.



Konsekwencją takich eksplozji supernowych (które nadal zdarzają się od czasu do czasu i oświetlają galaktyki jaskrawymi rozbłyskami) było pojawienie się chmur pyłu i gazu oraz resztek zawierających ciężkie pierwiastki. Te chmury otaczały galaktyki spiralami jak ramionami. Intensywność eksplozji była tak wysoka, że tworzyły się także pierwiastki cięższe niż żelazo i wylatywały w przestrzeń.

W zewnętrznej części spirali zachodziła kondensacja pyłu, chmur i resztek, z wynikającym z tego tworzeniem się drugiej generacji (mniejszych) gwiazd (włącznie z naszym Słońcem), jak również planet, księżyców, komet, asteroidów itp. Nasz system słoneczny uformował się, kiedy wszechświat miał ~9 miliardów lat. W początkowym okresie nasza Ziemia przeszła kilka gwałtownych wstrząsów (bombardowanie kometami i meteorami, jak również wielkie trzęsienia ziemi i erupcje wulkaniczne). Kiedy Ziemia miała ~2,5 miliarda lat, uformowały się kontynenty. Z czasem pojawiło się życie.

7.7 Dlaczego jest tak dużo złożoności we wszechświecie?

W momencie Wielkiego Wybuchu zawartość informacyjna wszechświata prawdopodobnie wynosiła zero, zakładając, że istniał tylko jeden możliwy stan początkowy i tylko jeden spójny wewnętrznie zestaw praw fizycznych. Istnienie informacji oznacza, że istnieją dostępne alternatywy; np. 0 albo 1. Jeśli nie było alternatywy dla stanu początkowego wszechświata, to jego opis nie wymagał żadnych bitów informacji. Wkrótce po tym, jak zaczęły się przestrzeń i czas, pola kwantowe zawierały bardzo mało informacji i energii. Tak więc, na początku, złożoność efektywna, głębia logiczna i głębia termodynamiczna (por. [Część 5](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6922) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6922>)) wszystkie wynosiły zero lub niemal zero. Ten pogląd jest zgodny z faktem, że wszechświat wyłonił się z niczego.

W miarę rozszerzania się wczesnego wszechświata, ściągał on coraz więcej energii z kwantowej tkaniny przestrzeni i czasu. Pod wpływem nieustannej ekspansji powstała różnorodność cząstek elementarnych i energia wyciągana z podstawowych pól kwantowych zamieniała się w ciepło, co znaczy, że początkowe cząstki elementarne były bardzo gorące i szybko wzrastała ich liczba; dlatego też szybko wzrastała entropia całego wszechświata. Wysoka entropia znaczy, że cząstki wymagają dużej ilości informacji do określenia ich koordynat i pędu. W ten sposób na początku rósł stopień złożoności wszechświata.

Wkrótce potem fluktuacje kwantowe, z których wynikały fluktuacje gęstości i zbijanie się materii, spowodowały, że efekty grawitacyjne stawały się coraz ważniejsze wraz z upływem czasu. Skrajnie duża zawartość informacyjna wszechświata wynika po części z kwantowo-mechanicznej natury praw fizyki. Język mechaniki kwantowej trzyma się kategorii prawdopodobieństwa, nie zaś pewności. Ta wewnętrzna nieoznaczoność w opisie obecnego wszechświata oznacza, że do jego opisu potrzebna jest bardzo duża ilość informacji. Jest to tylko inny sposób powiedzenia, że obecny stopień złożoności wszechświata jest bardzo duży.

Dlaczego jednak stopień złożoności nadal wzrasta? W Części 5 wprowadziliśmy metaforę małej walącej losowo w klawiaturę komputera. Doszliśmy do wniosku, że brzytwa Ockhama zapewnia, iż krótkie i proste programy są najbardziej prawdopodobnymi wyjaśnieniami zjawisk naturalnych, co

w tym kontekście znaczy wyjaśnienie ewolucji złożoności we wszechświecie. Kwantowo-mechaniczne prawa fizyki są „prostymi programami”, jak również komputerem. Ale co jest odpowiednikiem małej, lub raczej dużej liczby małych wrzucających coraz więcej informacji i złożoności do wszechświata przez programowanie go łańcuchami przypadkowych bitów? Według Setha Lloyd’a (2006) *„fluktuacje kwantowe są małpami, które programują wszechświat”*.

Według obecnie przeważającego zdania, wszechświat będzie się nadal rozszerzał i jest przestrzennie nieskończony. Ale prędkość światła nie jest nieskończona. Dlatego *połączona przyczynowo* część wszechświata ma skończony rozmiar, ograniczony tym, co zostało nazwane *„horyzontem”* (Lloyd 2006). Obliczenia kwantowe dokonywane przez wszechświat ograniczają się do tej części. Praktycznie rzecz biorąc, część wszechświata wewnątrz tego horyzontu jest tym, co nazywamy „wszechświatem”. W miarę jak ten wszechświat rozszerza się, powiększają się rozmiary przyczynowo powiązanego obszaru, co z kolei oznacza, że liczba bitów informacji wewnątrz horyzontu wzrasta, jak również wzrasta liczba operacji obliczeniowych. Tak więc rozszerzający się wszechświat jest powodem ciągłego wzrostu stopnia złożoności wszechświata.



7.8 Końcowe uwagi

Wiecznie obecna ekspansja wszechświata jest konieczną przyczyną (choć może nie wystarczającą przyczyną) całej ewolucji złożoności, ponieważ tworzy *gradienty* rozmaitego rodzaju. „Gradienty zawsze były umożliwiające przez rozszerzający się kosmos, i to właśnie był i jest wynikający z tego przepływ energii między niezliczonymi środowiskami nie będącymi w stanie równowagi, który spowodował — i w niezliczonych wypadkach nadal podtrzymuje — uporządkowane, złożone systemy w domenach dużych i małych, przeszłych i obecnych”. (Chaisson 2006). Zawsze obecne rozszerzanie się wszechświata powoduje powstawanie gradientów w rozmaitych skalach przestrzennych i czasowych. I „to właśnie kontrastujące czasowe zachowanie różnych gęstości energii spowodowało powstanie tych środowisk, potrzebnych do wyłonienia się galaktyk, gwiazd, planet i życia”.

W wielkim, kosmicznym scenariuszu na początku była tylko *fizyczna* ewolucja i panowała ona przez bardzo długi czas. Podczas gdy ewolucja fizyczna trwa nadal, wyłonienie się życia rozpoczęło zjawisko ewolucji biologicznej. Sposób patrzenia na ewolucję złożoności poprzez tę „naturę nie znosi gradientów” zostało szczególnie dobrze sformułowane przez Lynn Margulis i Doriona Sagana (2002) w ich książce *Acquiring Genomes: A Theory of the Origin of Species*: „Chociaż trudno jest powiedzieć, dlaczego wszechświat jest tak a nie inaczej zorganizowany, miarowe uniwersalne rozszerzanie się przestrzeni od czasu Wielkiego Wybuchu trwa nadal i dostarcza „leja” (miejsca) do którego mogą promieniować gwiazdy jako źródła: pierwotny gradient kosmiczny, źródło innych gradientów, formuje się dzięki kosmicznej ekspansji. Na dającą się przewidzieć przyszłość geometria rozszerzania się wszechświata nadal tworzy możliwości funkcjonalnie kreatywnej destrukcji gradientu, na przykład w przestrzeni i w elektromagnetycznych gradientach gwiazd. Kiedy jednak pojmiemy tę organizację, życie nie przedstawia się jako cud, ale raczej jako kolejny cykliczny układ, z długą historią, którego istnienie wyjaśnia większa skuteczność redukowania gradientów niż skuteczność nieżywych układów złożonych, które uzupełniło”.

Myśl, że wydajemy się we Wszechświecie tak bez znaczenia, jest całkiem otrzeźwiająca. Początkowo jeszcze bardziej upokarzające — ale cudownie oświecające — jest zrozumienie, że zmiany ewolucyjne, działające w niemal niezrozumiałej przestrzeni i niemal niepojętym czasie, zrodziły wszystko, co widzimy wokół nas. Naukowcy zaczynają teraz rozszyfrowywać jak wszystkie znane obiekty — od atomów po galaktyki, od komórek po mózgi, od ludzi do społeczeństwa — są ze sobą powiązane.

Eric Chaisson, *Cosmic Evolution*
Nirmukta, 16 października 2009r.

Zobacz także te strony:

[Złożoność wyjaśniona, część 1](#)

[Złożoność wyjaśniona, część 2, Inteligencja roju](#)

[Złożoność wyjaśniona. Część 3](#)

[Złożoność wyjaśniona. Część 4.](#)

[Złożoność wyjaśniona. Część 5.](#)

Vinod K. Wadhawan

Induski emerytowany fizyk atomowy,
współwydawca portalu PHASE
TRANSITIONS, publicysta, autor wielu
książek.

[Strona www autora](#)

[Pokaż inne teksty autora](#)



(Publikacja: 21-11-2009 Ostatnia zmiana: 23-11-2009)

[Oryginał..](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6957) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6957>)

Contents Copyright © 2000-2009 Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2009 Michał Przech

Autorem portalu Racjonalista.pl jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.
Właścicielami portalu są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie niniejszym wszelkie prawa, przewidziane w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych do tego portalu i jakiegokolwiek jego części.

Wszystkie strony tego portalu, wliczając w to strukturę katalogów, skrypty oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora. Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tego portalu oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tego portalu i nie korzystać z jego zasobów.

Informacje zawarte na tym portalu przeznaczone są do użytku prywatnego osób odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów portalu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na portalu. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych portalu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl