

Michał HELLERWydział Filozoficzny PAT
Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych
Kraków***KONIECZNOŚĆ I PRZYPADEK W EWOLUCJI
WSZECHŚWIATA*******1. WPROWADZENIE***

Mówi się ostatnio dużo o roli przypadku w ewolucji Wszechświata, w szczególności o jego roli w ewolucji biologicznej. Z jednej strony usiłuje się ewolucję zredukować do czystej gry przypadków, z drugiej strony — często w imię interpretacji religijnych — stara się uzupełnić naukową teorię ewolucji o elementy „inteligentnego projektu” (*Intelligent Design*). Obie te skrajności opierają się na nieporozumieniu, polegającym głównie na niezrozumieniu roli przypadku w strukturze i ewolucji Wszechświata. W wykładzie pozostawię na boku kwestie ideologiczne (by wrócić do nich na krótko przy końcu), podejmę natomiast zagadnienie od strony jego naukowych aspektów. Zresztą najlepszym sposobem usuwania nieporozumień jest rozpatrzenie najgłębszej warstwy tego, czego dotyczy.

* Artykuł niniejszy jest tekstem wykładu wygłoszonego w Warszawie, w dniu 22 stycznia 2009 r., z okazji przyznania jego autorowi doktoratu *honoris causa* Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego.

2. WSZECHŚWIAT NIELINIOWY

Jeżeli kosmologia jest nauką o strukturze i ewolucji Wszechświata, to można mówić o kosmologii w znaczeniu właściwym jako dziale fizyki i astronomii, którego celem jest zrekonstruowanie przestrzennej i czasowej struktury Wszechświata w jego największej skali i o kosmologii w szerszym znaczeniu, jaką w gruncie rzeczy jest cała fizyka (wraz z astronomią). Nie sposób bowiem mówić o strukturze Wszechświata bez rozpatrywania wszystkich praw fizyki, które leżą u podstaw tej struktury. Kosmologia w znaczeniu właściwym, budując modele kosmologiczne i zawężając ich mnogość do tej podklasy, która najlepiej zgadza się z obserwacjami, tworzy niejako scenę lub środowisko, w którym mogą działać prawa fizyki, ale to właśnie prawa fizyki (zwłaszcza te, które wchodzą w skład najważniejszych teorii fizyki, takich jak ogólna teoria względności i teorie pól kwantowych) służą jako tworzywo, z którego buduje się modele kosmologiczne. Mając na uwadze to zapętlenie i nieco rzecz upraszczając, można powiedzieć, że struktura Wszechświata to nic innego, jak tylko „siatka wszystkich praw fizyki”.

Zwykle w strukturze Wszechświata wyróżnia się element koniecznościowy — to właśnie prawa przyrody (lub po prostu prawa fizyki) i element przypadkowy — mają go stanowić różnego rodzaju przypadki, które tę strukturę zaburzają. Celem mojego wykładu jest pokazanie, że właśnie tu kryje się nieporozumienie: przypadki nie są obcym ciałem w „siatce praw przyrody” lecz jej inherentną częścią, bez której „siatka” nie mogłaby funkcjonować. Struktura Wszechświata jest utkana z praw przyrody i przypadków; oba te elementy wzajemnie bez siebie nie mogłyby istnieć. Wszechświat jest daleko bardziej całością niż się to wydaje naszemu umysłowi przyzwyczajonemu do kawałkowania.

Cóż może być bardziej oczywistego niż kawałkowanie? Z klocków można układać bardzo subtelne struktury i potem wszystko z powrotem rozkładać na klocki. W takich strukturach przypadek jest destrukcyjny. Drobny podmuch burzy misterną budowlę z kart. Całość jest

sumą swoich części i jeżeli cokolwiek przypadkowego wdrze się pomiędzy te części, może zniszczyć wszystko.

Ale tylko stosunkowo niewiele zjawisk lub procesów daje się przybliżyć takimi strukturami. Nazywa się je *strukturami liniowymi*, a równania, które je modelują, *równaniami liniowymi*. Suma rozwiązań takiego równania jest nowym jego rozwiązaniem. W ten właśnie sposób całość rozkłada się na części. Przykładem równania liniowego jest równanie falowe (o niezbyt wielkiej amplitudzie). Jean Fourier pokazał, że każdy ruch periodyczny można rozłożyć na (w zasadzie nieskończony) ciąg ruchów falowych (sinusoidalnych). Analiza fourierowska jest bardzo skuteczną metodą badania wielu zjawisk. Także i tu przypadek nie jest „obcym ciałem”. Mamy wiele rozwiązań równania falowego i chcąc opisać konkretny ruch falowy, musimy wybrać konkretne rozwiązanie. Czynimy to przez wybór odpowiednich warunków początkowych. Ale warunki początkowe w równaniu falowym są względem niego przypadkowe (nie wynikają one z samego równania, lecz musimy je „zadać”). Jednakże bez nich równanie nie mogłoby „zadziałać”, pozostałoby martwą formułką. Element przypadkowy sprawia, że równanie ożywia się i staje się rodzajem software’u dla danego procesu fizycznego.

Naprawdę ciekawe rzeczy zaczynają się dziać, gdy przechodzimy do rozpatrywania *układów nieliniowych*. Suma rozwiązań równania, odpowiadającego za taki układ (czyli *równania nieliniowego*), nie jest nowym jego rozwiązaniem. W przypadku „nakładania się” na siebie dwu rozwiązań zawsze mamy jakiś nowy naddatek. Rodzaj tego naddatku zależy od stopnia nieliniowości charakteryzującego dane równanie. Równania nieliniowe stwarzają zupełnie nowe środowisko dla działania przypadków. Przede wszystkim — wbrew intuicji — układ nieliniowy wcale nie musi być złożony z wielkiej liczby elementów, zachowujących się w bardzo skomplikowany sposób, ażeby występowały w nim zjawiska niedające się przewidzieć. Wybierzmy, na przykład, dowolną liczbę pomiędzy jeden i zero. Zapiszmy ją w postaci zerojedynkowej. Pomnóżmy tę liczbę przez dwa i odrzućmy jedynkę, jeżeli pojawiła się przed przecinkiem. Do wyniku zastosujemy tę samą pro-

cedurę. Ta prosta procedura (proste równanie iteracyjne) jest źródłem losowości. Jeżeli umówić się, że otrzymane wyniki określają położenie cząstki na prostej, to okazuje się, iż cząstka — choć wykonuje całkiem deterministyczny program — zachowuje się w sposób czysto losowy, który niczym się nie różni od ciągu orłów i reszek w losowym rzucaniu monetą.

Ten przykład ma wręcz kosmiczne znaczenie. Dziś wiemy, że podobne nieliniowe procesy leżą u podstaw tworzenia się i ewolucji złożonych struktur we Wszechświecie: od atomów i molekuł, poprzez związki chemiczne i żywe organizmy, aż do galaktyk i gromad galaktyk. Co więcej, Wszechświat jako całość jest także rządony przez układ silnie nieliniowych równań (równania Einsteina). Nie znaczy to jednak, że Wszechświat i wszystkie istniejące w nim żywe struktury są dziełem przypadku (losowości). Znaczy to tylko, że przypadki są istotnie — nieliniowo — wplecione w strategię działania praw fizyki. Mówiąc obrazowo, w „siatce praw przyrody” znajdują się pewne, ściśle określone luzy na działanie zdarzeń losowych. I jest tych luzów dokładnie tyle, ile potrzeba, by całość działała zgodnie z programem zawartym w nieliniowych układach równań¹.

Wróćmy do Wszechświata w największej skali (mówi się niekiedy o „Wszechświecie jako całości”). Wedle dzisiejszego paradygmatu naukowego struktura Wszechświata w największej skali jest zakodowana w równaniach Einsteina. Tworzą one układ silnie nieliniowych równań różniczkowych. Można o nim myśleć jako o hierarchii sprzężeń pomiędzy różnymi częściami (lub lepiej — aspektami) całości. Do tej hierarchii wchodzi również sprzężenia między sprzężeniami, sprzężenia między sprzężeniami między sprzężeniami, itd. Należy z naciskiem podkreślić, że nie sprowadza się to tylko do słownego opisu. Cała ta hierarchia oddziaływań jest zakodowana w strukturze równań

¹Moje uwagi na ten temat są z konieczności skrótowe. Odsyłam czytelnika do bogatej literatury. Moją ulubioną książką z tej dziedziny (na poziomie popularnym) jest: P. Davies, *The Cosmic Blueprint*, Touchstone: Simon and Schuster, New York 1989.

Einsteina i przynajmniej niektóre aspekty tej struktury potrafimy matematycznie rozwikłać.

Już choćby na podstawie tego skrótowego przedstawienia łatwo dostrzec, że Wszechświat jest „silnie całościowy”: wszystko jest w nim ze wszystkim nieliniowo powiązane. Możliwość wyizolowania lokalnego obszaru i poddawania go badaniom niezależnie od reszty (co umożliwi uprawianie fizyki) jest następstwem tego, że przynajmniej niektóre aspekty nieliniowej struktury Wszechświata można przybliżać strukturami liniowymi (podobnie jak zakrzywioną powierzchnię kuli można lokalnie przybliżać płaską przestrzenią styczną). Zjawiska losowe mają niewątpliwie swoje miejsce w całej tej strukturze. Stanowią one trudne pole badań w kosmologii relatywistycznej (np. problem chaosu deterministycznego w rozwiązaniach równań Einsteina, stabilność warunków początkowych, tzw. problem mieszania [*mixmaster*]). Podkreślmy jeszcze raz: nie są one obcym ciałem w matematycznym programie rządzącym Wszechświatem, lecz istotną częścią tego programu².

3. PRZYPADEK I LOSOWOŚĆ

Dotychczas terminów „przypadek” i „losowość” używałem zamiennie i w intuicyjnym znaczeniu. W popularnych rozważaniach można to czynić pod warunkiem, że ma się świadomość wieloznaczności tych terminów i utrzymuje się tę wieloznaczność pod przynajmniej względną kontrolą. Jeżeli natomiast ktoś mówi o przypadku, sądząc, że „i tak wiadomo o co chodzi”, to sam nie wie, o czym mówi. Pojęcia przypadku i losowości w oczywisty sposób wiążą się z rachunkiem prawdopodobieństwa i bez odwołania się do niego nie mogą być dobrze określone. Ale trzeba również zdawać sobie sprawę z tego, że istnieje wiele ujęć i interpretacji rachunku prawdopodobieństwa, żeby wspomnieć o interpretacji częstościowej, bayesowskiej, skłonności-

²Więcej o tych zagadnieniach pisałem w: “The Non-Linear Universe: Creative Processes in the Universe”, w: *The Emergence of Complexity*, Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia, 89, 1994, 191–209.

wej, czy w najbardziej sformalizowanym ujęciu Kołmogorowa. Różne te ujęcia mają oczywiście wpływ na rozumienie przypadku i losowości. Na szczęście jednak w wielu filozoficznych analizach (zwłaszcza utrzymywanych w popularnym tonie) wystarczy odwołanie się do najprostszych przykładów, pod warunkiem wyjaśnienia ich bez zniekształcania teoretycznego zaplecza.

Przykładem procesu losowego jest rzucanie niesfałszowaną monetą lub niesfałszowaną kostką do gry. Istotną rzeczą jest to, że kolejne rzuty nie mają wpływu na siebie, nie są ze sobą w żaden sposób skorelowane. Możemy powiedzieć, że nie ma pomiędzy nimi związku przyczynowego. Wyniki rzutów tworzą ciąg losowy, każdy pojedynczy wynik możemy uznać za przypadek.

Zauważmy, że proces losowy wcale nie musi być indeterministyczny. Zresztą pominąwszy czynnik wolnej woli, który może być zaangażowany w ruchy ręki rzucającej monetą, sam proces ruchu monety podlega prawom mechaniki klasycznej, a więc jest deterministyczny, chociaż wrażliwy na działanie wielu czynników zewnętrznych, dla nas nieprzewidywalnych (ale nie dla demona Laplace'a, który nie tylko znałby położenia i pędy wszystkich cząstek we Wszechświecie z dowolną dokładnością, ale byłby również wyposażony w nieograniczoną moc obliczeniową). Co więcej, widzieliśmy powyżej, że całkowicie deterministyczny matematyczny algorytm określający ruch cząstki na prostej jest ściśle losowy, można bowiem wykazać jego izomorficzność z procesem nieograniczonego rzucania monetą.

Następną ciekawą własnością procesów losowych jest to, że proces taki wcale nie musi być dyskretny, nie musi składać się z kolejnych, oddzielonych od siebie „kroków”. Są znane ciągłe procesy losowe. Możemy powiedzieć, że w takim procesie „przypadek działa nieustannie” (w sposób ciągły). Do takich procesów należą procesy Markowa, w których następne stany układu można przewidywać, na podstawie znajomości stanu obecnego, tylko z pewnym prawdopodobieństwem.

Działanie przypadkowe wcale nie musi oznaczać braku przyczynowości. Wróćmy do przykładu z rzucaniem monetą. Wprawdzie między kolejnymi rzutami nie ma związku przyczynowego, ale na konkretny

wynik rzutu ma wpływ cały szereg czynników: drgania powietrza, tarcie i opór ośrodka itp. Są to czynniki przypadkowe względem procesu rzucania monetą, ale mogą być wcale nieprzypadkowe „z punktu widzenia” innych praw fizyki. Bardzo wiele zdarzeń, które uznajemy za przypadkowe (zarówno w nauce, jak i w życiu codziennym), polega na „przecinaniu się” różnych ciągów przyczynowych. I tu właśnie dochodzimy do centralnego pytania: czy istnieją we Wszechświecie zdarzenia naprawdę niezdeterminowane?

4. PRAWDOPODOBIEŃSTWO NA POZIOMIE FUNDAMENTALNYM

Mechanika kwantowa najprawdopodobniej nie jest teorią fundamentalną, ale istnieją poważne przesłanki przemawiające za tym, że wiele cech mechaniki kwantowej, być może po odpowiednim uogólnieniu, przetrwa przejście do teorii fundamentalnej. Można oczekiwać, że jedną z takich cech będzie probabilistyczny charakter mechaniki kwantowej. Nie tu miejsce na dyskusję tego ważnego zagadnienia; poruszę tylko jeden jego aspekt, szczególnie doniosły dla tematu mego wystąpienia.

Dziś wiemy, że pojęcie prawdopodobieństwa, jakie obowiązuje w mechanice kwantowej, jest uogólnieniem klasycznego pojęcia prawdopodobieństwa. Stanowi to następstwo faktu, że mechanika kwantowa — w odróżnieniu od mechaniki klasycznej — podlega nieboolowskiej logice³. Jeżeli pojęcie przypadku jest ściśle związane z teorią prawdopodobieństwa, to wraz z modyfikacją teorii prawdopodobieństwa zmianie ulega także pojęcie przypadku. Jest to poważna przestroga, że nie należy absolutyzować naszych potocznych intuicji związanych z pojęciem przypadku. Jeżeli ponadto okaże się, że poziom podstawowy (tzw. poziom Plancka) jest probabilistyczny (w uogólnionym sensie), to trzeba będzie dokonać gruntownej rewizji naszych filozoficznych poglądów na takie zagadnienia jak: przyczynowość, losowość,

³Por.: M. Rédei, S.J. Summers, “Quantum Probability Theory”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 38, 2007, 390–417.

przypadek... Podkreślmy jednak z naciskiem: jeżeli istotnie okaże się, że poziom podstawowy jest probabilistyczny, nie będzie to oznaczać niepodzielnego panowania chaosu i przypadkowości (w potocznym znaczeniu tych słów); wręcz przeciwnie — poziom ten będzie modelowany przez bardzo wyrafinowane struktury matematyczne. Przedsmak tego wyrafinowania już jest naszym udziałem, gdy wypracowujemy robocze modele, przecierające drogę do — jak mamy nadzieję — spenetrowania poziomu podstawowego.

W naszych poszukiwaniach teorii fundamentalnej coraz większe zastosowanie znajdują metody tzw. geometrii nieprzemiennej (m.in. w teorii grup kwantowych i teorii superstun). Otóż geometria nieprzemieniana ma swoją własną teorię prawdopodobieństwa (zwaną również *Free Probability Theory*)⁴, której kwantowa i klasyczna teorie prawdopodobieństwa są szczególnymi przypadkami. Nieprzemienne uogólnienie teorii prawdopodobieństwa jest bardzo daleko idące. Na przykład można je stosować do sytuacji, w których nie występują indywidua (jest to sytuacja „typowa” dla geometrii nieprzemiennej). Co — jak wiadomo — jest wykluczone w przypadku klasycznego pojęcia prawdopodobieństwa (można potasować talię kart, ale nie można potasować asa pikowego). Jeżeli taka teoria prawdopodobieństwa stosuje się na poziomie podstawowym, a pojęcie przypadku jest ściśle związane z pojęciem prawdopodobieństwa, to wszystkie nasze intuicje dotyczące przypadkowości należy traktować tylko jako grube (makroskopowe) przybliżenia rzeczywistości, a oparte na tych intuicjach spekulacje o charakterze filozoficznym lub teologicznym mogą mieć tylko bardzo ograniczoną wartość.

5. PRZESŁANIE

Jakie więc jest filozoficzne i teologiczne przesłanie tych rozważań? Przesłanie to mieści się we wniosku, że przypadek nie jest jakąś destrukcyjną siłą, która niszczy, lub przynajmniej narusza, strukturę

⁴Por.: I. Cuculescu, A.G. Oprea, *Noncommutative Probability*, Kluwer, Detroit—Boston—London, 1994.

Wszechświata zakodowaną w prawach przyrody. Jak widzieliśmy, jest wręcz przeciwnie: przypadek stanowi nieusuwalny element struktury Wszechświata. Element przypadkowości jest nieliniowo wkomponowany w dynamiczną architekturę całości. Co więcej, przypadki nie są wyłomem w matematycznym porządku Wszechświata, same mają charakter matematyczny i, jako takie, są istotnym aspektem „matematyczności świata”.

Jeżeli przyjmiemy stanowisko, że matematyczna struktura Wszechświata jest urzeczywistnieniem Stwórczego Zamysłu Boga (*the Mind of God*, jak mawiał Einstein), to konsekwentnie należy uznać, że przypadki stanowią istotny element tego Zamysłu. Ideologia przeciwstawiająca Bogu przypadek (który niszczy lub narusza Boży plan), jest w gruncie rzeczy współczesną wersją manicheizmu, herezji z pierwszych wieków Chrześcijaństwa, która w materii dopatrywała się zasady zła i siły przeciwstawiającej się Bogu. Do takich ideologii należy zaliczyć rozpowszechnioną dziś koncepcję, znaną pod nazwą „Inteligentnego Projektu” (*Intelligent Design*). Jej zwolennicy usiłują usunąć, lub przynajmniej zminimalizować, rolę przypadku w biologicznej i kosmologicznej ewolucji i czynią to często z pobudek (jawnie lub w sposób zawoalowany) religijnych. Ideologia ta nie tylko wskrzesza dawne teologiczne błędy manicheizmu, ale jest również sprzeczna z naukowym rozumieniem Wszechświata.

Matematyka i jej zastosowania do fizyki są najprawdopodobniej jedynymi dziedzinami, w których potrafimy wyjść poza ograniczenia naszych intuicji i stopniowo odsłaniać warstwy tego, co można by nazwać Logosem Wszechświata.

SUMMARY

NECESSITY AND RANDOM EVENTS IN THE EVOLUTION OF THE UNIVERSE

There are two extremities in contemporary discussions on the role of random events in the evolution of the Universe: one extremity consists in reducing the evolution to a blind game of random events, the other extremity

consists in seeing everywhere traces of the “intelligent design”. Both these doctrines are based on misunderstandings. It is argued that casual or random events are not a “foreign body” in the network of physical laws, but rather its indispensable element without which the laws of physics would be ineffective.