

Jacek Poznański SI

Filozoficzne aspekty teorii chaosu

Pojęcia przypadku i chaosu już od dawna nie są obce naukom nowożytnym. To pierwsze do matematyki wprowadził Pascal, a drugie do fizyki Boltzmann i Gibbs. Pojęcie chaosu było związane z tzw. hipotezą chaosu molekularnego. Hipoteza ta oraz zastosowanie rachunku prawdopodobieństwa (zespołów statystycznych) ułatwiły Boltzmannowi i Gibbsowi powiązanie mechaniki i termodynamiki. Jednak, przynajmniej od lat 70-tych XX wieku, rachunek prawdopodobieństwa nie jest jedyną teorią opisującą zachowania określane jako chaotyczne i przypadkowe. Do narzędzi matematycznych mających zastosowanie na tym polu dołączyła teoria układów dynamicznych, wypracowana dzięki zainteresowaniu niektórymi anomaliami mechaniki klasycznej.

Moim zamiarem jest ukazanie miejsc, w których teoria chaosu inspiruje do filozofowania oraz wyszczególnienie i usystematyzowanie zagadnień filozoficznych, które pojawiają się w tym kontekście. Zwrócę uwagę na potrzebę refleksji nad pojęciem chaosu, wyróżnienia odmiennych znaczeń terminu „chaos” oraz rozróżnienia chaosu matematycznego i tego, który pojawia się w przyrodzie. Ze względu na pewne swoiste cechy zachowań chaotycznych pojawiają się nowe zagadnienia w metodologii nauk związane z modelowaniem, testowaniem i wyjaśnianiem zjawisk. W ramach epistemologii można zapytać, jakiej natury jest ograniczenie, które teoria chaosu nakłada na nasze poznanie zarówno naukowe, jak i metafizyczne. Z tym ściśle wiążą się zagadnienia ontologiczne: pytanie o determinizm i możliwość ontologicznego „otwarcia świata”. Omawiana teoria daje też pewne wskazówki dla ontologii liczb

rzeczywistych. Z punktu widzenia filozofii nauki¹ należy natomiast rozważyć zasadność tezy o rewolucji naukowej, jaką miałyby nieść ze sobą teoria chaosu.

1. Pojęcie chaosu

W języku potocznym z pojęciami chaosu i przypadkowości wiąże się przeważnie dwie intuicje. Mówi się, że coś jest przypadkowe wtedy, gdy zachowanie nie ma dostrzegalnego schematu lub gdy jest nieprzewidywalne. Można wyróżnić kilka odmiennych znaczeń tego pojęcia².

Po pierwsze chaos może oznaczać zachowanie losowe w sytuacji gdy np. rzucamy monetą. Mówiąc, że coś jest losowe, stwierdzamy własną, częściową ignorancję – nie jesteśmy w stanie poznać wszystkich wchodzących w grę czynników. Niewiedza jest częściowa, bo wiemy na podstawie tzw. stabilności częstościowej, jaki będzie wynik rzutów, gdy ich ilość będzie znaczna³. Losowość nie wyklucza tego, że dane zdarzenie ma przyczynę, a jego prawdopodobieństwo można obliczyć.

Inne znaczenie ma pojęcie chaosu w sytuacji, gdy mamy do czynienia z przecięciem się dwu dotąd odrębnych łańcuchów złożonych ze zdarzeń powiązanych przyczynowo. Wówczas nie jesteśmy w stanie obliczyć prawdopodobieństwa tego, co zaszło w punkcie przecięcia. Dla takiej sytuacji użyjmy terminu „przypadek”. I w

¹Odróżniam metodologię nauki, jako logiczne badanie struktur i procedur stosowanych w odkrywaniu, uzasadnianiu, wyjaśnianiu naukowym itp. od filozofii nauki, jako dziedziny zajmującej się badaniem nauki (poszczególnych nauk) w sensie pewnych całości, koncepcji nauki, zmian tych koncepcji itp.

²Por. A. R. Peacocke, *Chance and Law in Irreversible Thermodynamics, Theoretical Biology, and Theology* [w:] *Chaos and Complexity: Scientific Perspectives on Divine Action*, R. J. Russell, N. Murphy, A. R. Peacocke, Editors. Vatican State: Vatican Observatory/CTNS, CTNS–Vatican Observatory, 1995, ss. 124–125.

³Pojęcie stabilności częstościowej jest ugruntowane empirycznie, czyli jest własnością świata. Mówi ono o tym, że np. wielokrotny rzut monetą w granicy zawsze da wynik: „wypadło połowę reszek i połowę orłów”.

końcu terminem „chaos” oznaczamy „czystą losowość”, tzn. sytuację gdy nie istnieje żadna przyczyna, która by mogła spowodować określone zdarzenie.

Jednak potoczny punkt widzenia domaga się pewnych doprecyzowań. Inspiracją do nich stała się teoria chaosu. Pokazuje ona, że możemy mówić o różnych rodzajach chaosu, a także o różnych jego poziomach oraz że istnieje kilka odmiennych sposobów, które mogą doprowadzić układ do zachowań chaotycznych⁴.

O jaki chaos chodzi w teorii chaosu? Najpierw trzeba zauważyć, że jest to chaos określany przymiotnikiem deterministyczny. Ten dziwny związek znaczeniowy jest usprawiedliwiony naturą mechanizmów, które znajdują się u źródła omawianego zjawiska. Istnieje uniwersalny mechanizm powstawania chaosu deterministycznego (w szczególności jest on realizowany na różnych drogach)⁵. Otóż odwzorowania nieliniowe w pewnych warunkach ujawniają dwie własności: rozciąganie i składanie. Poglądowo można wyjaśnić to następująco. Każda iteracja powoduje, że dany odcinek zostaje

⁴Teoria chaosu jest już rozbudowaną dyscypliną naukową. Badania pokazały, że sam chaos deterministyczny jest zjawiskiem niezwykle bogatym i zróżnicowanym: pojawia się w wielu odmiennych typach układów i wyłania się na różne sposoby. Ogólnie mówiąc, zachowania chaotyczne pojawiają się w nieliniowych układach chaotycznych. Układy te można podzielić na dyssypatywne i zachowawcze – te ostatnie zaś dzielą się na klasyczne i kwantowe. W każdej z tych klas układów chaos pojawia się trochę inaczej. Układy dyssypatywne dochodzą do chaosu na trzech drogach. Poprzez zjawisko bifurkacji, za pomocą intermitencji oraz na drodze tworzenia dziwnych atraktorów. W układach klasycznych chaotyczność wynika z fundamentalnego twierdzenia o trajektoriach w przestrzeni fazowej mechaniki klasycznej, zwanego twierdzeniem KAM. Trzeba także wspomnieć o różnych poziomach chaotyczności (rekurencja, ergodyczność, mieszanie, własność K). Chaos w układach kwantowych jest najmniej zbadany, niemniej istnieją przesłanki sugerujące jego obecność zwłaszcza w tych układach kwantowych, które w granicy klasycznej wykazują zachowania chaotyczne. Por. H. G. Schuster, *Chaos deterministyczny. Wprowadzenie*, PWN, Warszawa 1995. W pozycji tej można też znaleźć wyjaśnienia dotyczące użytych tu pojęć. W prezentowanym tekście mają one znaczenie orientacyjne i nie są używane w dalszych rozważaniach. Tamże, ss. 16–18.

⁵Zob. H. G. Schuster, dz. cyt., ss. 33–34.

najpierw powiększony o pewien czynnik (rozciąganie), a następnie jak gdyby zagięty w taki sposób, by stać się wyjściowym odcinkiem (składanie). Prowadzi to do wymieszania punktów wyznaczających wartości początkowe. Ponieważ zależą od nich trajektorie rozwiązań, konsekwencją takiego mieszania będzie chaotyczne zachowanie układu deterministycznego.

Proces ten wzmacnia wewnętrzny „numeryczny szum” liczb niewymiernych, tzn. losowość kolejnych cyfr w rozwinięciu dziesiętnym takiej liczby. W sytuacji fizycznej, gdy wprowadzamy do równania nieliniowego daną (a jak później powiemy „zazwyczaj” musi być ona wyrażona przez liczbę niewymierną) zawsze zawiera ona skończony, choćby dowolnie mały błąd. Błąd ten jest wzmacniany przez wspomniany mechanizm.

Zachowanie chaotyczne zależy nie tylko od danej początkowej, ale również od wartości tzw. parametru kontrolnego. Otóż wartości tego parametru doprowadzające do zachowań chaotycznych i niechaotycznych są gęsto ze sobą wymieszane⁶. W pewnych przedziałach dla danej wartości powodującej zachowania chaotyczne, dowolnie blisko znajduje się wartość, dla której układ będzie na stabilnej trajektorii okresowej. Dla obu typów zachowań uśrednione statystycznie zachowanie może być całkowicie odmienne, gdyż właśnie wrażliwość na wartości parametru powoduje, że statystyczne średnie są niestabilne względem zaburzeń. Można jednak przewidywać, ale tylko statystycznie, zależność układu od parametru, tzn. określić prawdopodobieństwo błędu, że dana trajektoria chaotyczna jest w rzeczywistości okresowa (problem jest jeszcze bardziej skomplikowany, bo pojawia się dodatkowo kwestia quasi okresowości).

Tak więc zachowanie wyznaczone równaniami deterministycznymi, z uwagi na nieliniowość tych równań, jest nieprzewidywalne, chaotyczne.

⁶Tamże, s. 73.

2. Metodologia

2.1. Modelowanie i wyjaśnianie

Nie jest jasne, w jaki sposób można odnieść chaos odkrywany w nieliniowych układach dynamicznych w matematyce do tego samego rodzaju układów funkcjonujących w przyrodzie. „Wrażliwość” matematycznych układów chaotycznych oraz złożoność przyrody bardzo komplikują dwie ważne dla nauki strategie: idealizację i modelowanie, a co za tym idzie – testowanie i wyjaśnianie modeli opartych na teorii chaosu.

W jakim sensie matematyczny układ dynamiczny modeluje naturalny system dynamiczny? Można odnieść wrażenie, że sposób modelowania jest zbliżony do znanego w mechanice statystycznej⁷. Jednak można podać przynajmniej dwie racje, dla których przypuszczenie to jest problematyczne. Po pierwsze, w układach chaotycznych interakcje składników systemu są o wiele bardziej złożone niż w układach niechaotycznych. Po drugie, całościowe własności układu dynamicznego są trudniejsze do ilościowego ujęcia niż w układach statystycznych.

Z tych powodów oraz z uwagi na dużą wrażliwość modelu, w obszarze chaotycznym zachowanie składników systemu nie uśrednia się, stąd trudno mówić tu o modelowaniu statystycznym. Tak więc modele oparte na dynamice chaotycznej mają bardzo ograniczoną użyteczność, a co za tym idzie, łatwą do podważenia moc wyjaśniającą. Aczkolwiek trzeba też wziąć pod uwagę fakt, że jeśli układ fizyczny był wiernie modelowany we wcześniejszych obszarach zachowania regularnego lub okresowego, to wydaje się, że model powinien być w jakimś stopniu odpowiedni i dla ob-

⁷Zob., W. J. Wildman, R. J. Russell, *Chaos: a Mathematical Introduction with Philosophical Reflections* [w:] *Chaos and Complexity: Scientific Perspectives on Divine Action*, R. J. Russell, N. Murphy, A. R. Peacocke, Editors. Vatican State: Vatican Observatory/CTNS, CTNS–Vatican Observatory, 1995, s. 77nn.

szaru chaotycznego. Co więcej, modele chaotyczne dają czasem możliwość identyfikowania atraktorów dla zachowania układu naturalnego. Wyznaczenie takiego atraktora na podstawie danych empirycznych daje możliwość geometrycznego potwierdzenia modelu (lub raczej klasy modeli) jako całości.

Układy chaotyczne można też klasyfikować i wyjaśniać za pomocą pewnych ogólnych cech (takich jak skalowanie przez uniwersalne liczby, np. liczbę Feigenbauma), przysługujących danej klasie układów chaotycznych, czy też określając w jakim scenariuszu układ dochodzi do chaosu i na tej podstawie wnioskować o pewnych jego ogólnych własnościach.

Problem w modelowaniu chaotycznych układów dynamicznych polegać może także na tym, że układy naturalne prawdopodobnie ciągle przechodzą pomiędzy nierozróżnialnymi fenomenologicznie zachowaniami: chaotycznym (w sensie teorii chaosu), skomplikowaną okresowością, quasi-okresowością i „przypadkowością” lub „czystą losowością”.

2.2. Testowanie

Gdy chcemy przetestować model (dobrze pracujący w obszarze regularności) w obszarze chaotycznego zachowania, bądź w obszarze skomplikowanej okresowości pojawia się wiele problemów. Pierwsza trudność to dostrojenie parametrów kontrolnych układu fizycznego i modelu matematycznego tego układu. W związku z tym, co powiedzieliśmy wcześniej o owym parametrze i jego wrażliwości na błąd, nigdy nie będziemy pewni, czy możemy postawić znak równości pomiędzy wartościami z układu rzeczywistego i z modelu. To samo odnosi się do kwestii powiązania warunków początkowych obu wspomnianych układów.

Trzeba też zauważyć pewną trudność praktyczną. Związana jest ona z tym, że w miarę ewolucji układu, eksponentylnie wzrasta czas potrzebny na obliczenia w ramach jego modelu; w efekcie układ naturalny ewoluuje szybciej niż można to obliczyć na podstawie modelu.

To wszystko powoduje, że modelowanie za pomocą układów nieliniowych posiada niejasne znaczenie i staje się nieefektywne.

3. Epistemologia

Teoria chaosu nakłada epistemiczne granice na poznanie naukowe makroświata. W tym punkcie trzeba przede wszystkim odnieść się do kwestii przewidywalności. Omawiana teoria sugeruje potrzebę wyróżnienia różnych typów przewidywalności (przewidywalność „w zasadzie”, „w praktyce”, krótko- i długo-okresowa) i nieprzewidywalności⁸. Jest tak dlatego, że trajektorie chaotyczne nie są w ścisłym sensie przypadkowe, ponieważ są wyznaczone przez równania. Natomiast kolejne liczby, które modelują zachowanie układu, obliczone za pomocą tych równań są przypadkowe w ścisłym sensie. Przypadkowość chaotyczna nie jest więc ani przypadkowością ani jej brakiem. Stąd zachowanie chaotyczne w pewnym sensie jest przewidywalne i zarazem nieprzewidywalne. Za pomocą iteracji danego równania jesteśmy w stanie obliczyć kolejne liczby. Ale nawet gdybyśmy mogli w skończony sposób określić warunki początkowe oraz parametr kontrolny, co dawałoby możliwość wyrażenia wyniku za pomocą skończonej dziesiętnej reprezentacji dla danej liczby iteracji, to jednak każda następną iteracją powodowałaby eksponentywny wzrost liczby miejsc dziesiętnych, co w rezultacie doprowadziłoby do konieczności zaokrągleń. Jedyłą rzeczą, jaką możemy przewidzieć jest liczba iteracji, po których stracimy kontrolę nad trajektorią. Jesteśmy również niekiedy w stanie szacować, jaki będzie błąd po n -iteracjach. Jednakże dla bardziej skomplikowanych równań i to jest niewykonalne.

Jeśli chodzi o poznanie metafizyczne, teoria ta wydaje się być argumentem za hipotezą metafizycznego determinizmu, gdyż pozwala ujmować przypadkowe zachowania jako przejawy głębszej, deterministycznej struktury. Jednak nakłada ona również fundamentalne ograniczenia na zasięg owego wsparcia. Otóż w regionach

⁸Por. Schuster, s. 76.

chaotycznych, gdzie załamuje się możliwość modelowania i statystycznego przewidywania, nigdy nie można być pewnym, czy jakiś inny model układu dynamicznego, np. zawierający Boga jako przyczynę, nie pozwoli lepiej opisać zachowania układu⁹.

4. Ontologia

Jak każda teoria naukowa, także i omawiana może posiadać wiele interpretacji, nawet sprzecznych ze sobą. W przypadku teorii chaosu zależy to od rozłożenia akcentów i wagi, jaką przypisuje się niektórym jej wynikom.

Jedna z interpretacji posługuje się następującym rozumowaniem. Jeżeli z jednej strony chaos jest deterministyczny, tzn. opisywany przez równania deterministyczne, a z drugiej, teoria ta opisuje znaczny obszar dotychczas nie dających się ująć matematycznie obiektów, można wnioskować, że jest ona poparciem dla tezy metafizycznego determinizmu.

Można jednak również twierdzić, jak to robi Polkinghorne, że teoria ta sugeruje możliwość „otwarcia świata”, czyli zerwania łańcucha naturalnych przyczyn¹⁰. Jego rozumowanie wykorzystuje w tym punkcie tzw. efekt motyla, tj. nadwrażliwość na warunki początkowe oraz ideę, że mogą one być wrażliwe także na bezenergetyczny przekaz informacji np. przez duchowy czynnik. W innej wersji tej interpretacji wiąże się mechanikę kwantową z teorią chaosu, której efekty miałyby wzmacniać niedeterministyczne efekty kwantowe do poziomu makro. W ten sposób kwantowe niezdecydowanie (zazwyczaj uśredniające się na poziomie makro) mogłoby się manifestować na wyższych poziomach organizacji materii.

Obie interpretacje mają swoje słabe punkty. Pierwsza zdaje się mylić dwa sposoby użycia słowa „deterministyczny”: literacki oraz metafizyczny, a nadto zakłada, iż używanie matematycznych

⁹Por. tamże, s. 86.

¹⁰Zob. J. Polkinghorne, *Rozum i rzeczywistość. Związki między nauką i teologią*, przekł. P. Tomaszek, ZNAK, Kraków 1995, ss. 53–71.

równań wymaga metafizycznego determinizmu przyrody. Drugie stanowisko przyjmuje milcząco, że istnieje coś takiego jak informacja bez swego nośnika¹¹.

Trzeba także zauważyć, że chaos w przyrodzie nie daje żadnych świadectw za metafizyczną otwartością, gdyż jakkolwiek układ może być otwarty, to całe środowisko może być przyczynowo zdeterminowane. Co więcej, efekt motyla jest własnością matematycznych układów dynamicznych i nie wiadomo, na ile może być przypisywany układom naturalnym.

4.1. Przyczynowanie

Wśród zagadnień ontologicznych warto zwrócić uwagę na pewne wskazówki co do rozumienia przyczynowania. Teoria chaosu pokazała, że ogromny skutek może być wywołany przez infintezymalnie małą przyczynę. Zachwiana więc zostaje proporcja przyczyny do skutku, tak mocno akcentowana zwłaszcza w filozofii klasycznej.

Inna kwestia dotyczy możliwości posługiwania się kategorią przyczyny celowej w nauce. Takie sugestie pojawiają się w odniesieniu do zjawiska przyciągania trajektorii (opisującej jakiś układ) przez wyróżnione obszary przestrzeni fazowej zwane atraktorami (wyróżnione zachowania układu dla danego zestawu parametrów).

4.2. Ontologia liczb niewymiernych

Rozważania na gruncie teorii chaosu mogą również rzucać światło na ontologię jednej z podstawowych dziedzin matematyki – teorii liczb. Badania Cantora doprowadziły do ścisłego zdefiniowania liczb niewymiernych. Powstaje tutaj pytanie, czy liczby niewymierne to jedynie konstrukt matematyczny, czy też istnieją one naprawdę, a jeśli tak, to czy jest to istnienie myślne czy też ja-

¹¹Gdyby informacja była przynoszona na nośniku wtedy przy dostarczeniu takiej informacji zmianę warunków początkowych można by przypisać ingerencji nośnika a nie czystej informacji.

kość zakorzenione w rzeczywistości fizycznej. Penrose jest skłonny zaprzeczyć tej ostatniej możliwości argumentując, iż nie jesteśmy w stanie przypisać sensu fizycznego tym liczbom¹².

Trzeba pamiętać, że dane możemy wyrazić tylko w postaci liczb wymiernych (które są nieskończone i przeliczalne). Natomiast odpowiadające im wielkości fizyczne mogą i zapewne wyrażają się za pomocą liczb rzeczywistych (nieskończonych nieprzeliczalnych, stąd należących do innego porządku nieskończoności – *continuum*). Zatem błąd wynikający z zaokrąglenia będzie również liczbą rzeczywistą niewymierną. W związku z tym, co powiedzieliśmy o roli danych początkowych w układach chaotycznych można by wnosić, że jeśli w przyrodzie mamy do czynienia z chaotyczną nieprzewidywalnością, która, przynajmniej w układach matematycznych, powstaje jako wzmocnienie szumu numerycznego liczb rzeczywistych, to liczby te mają jakąś podstawę w rzeczywistości fizycznej. Minimalnym założeniem tej interpretacji jest stwierdzenie, że przynajmniej owa opisana wyżej teoria uniwersalnego mechanizmu powstawania chaosu deterministycznego ma jakieś odniesienie do analogicznej kwestii w przyrodzie.

5. Teoria chaosu rewolucją naukową?

Gdy w latach 70-tych naukowcy zdali sobie sprawę, iż mają do czynienia z nową gałęzią nauki, zaczęły pojawiać się sugestie, by mówić o nowej rewolucji naukowej, na wzór kopernikańskiej, kwantowej czy relatywistycznej. Promotorami tej idei w jej popularnym wydaniu są np. Gleick, Prigogine, Tempczyk. Mówi się więc o nowej nauce, rewolucji naukowej, nowym paradygmacie. Można jednak odnieść wrażenie, że z jednej strony deklaracje te są oparte na dowolnym rozumieniu tych terminów, a z drugiej strony na bardzo pobieżnej analizie historycznej i metodologicznej (pozycje omawiające tę problematykę to równocześnie opracowa-

¹²Zob. R. Penrose, *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, przekł. P. Amsterdamski, PWN, Warszawa 1995, ss. 106–108.

nia popularyzujące teorie chaosu). Na przykład Tempczyk uważa, że teoria paradygmatyczna to taka, która ma zastosowanie do różnych dziedzin nauki, jest spójna i niezależna od innych teorii; ponadto dostarcza narzędzi do konstrukcji ogólnego obrazu świata oraz pomaga w wychwyceniu nowych własności zjawisk¹³. Pomijając problematyczność dosyć pobieżnej argumentacji za tym, że te cechy przysługują teorii chaosu¹⁴ trzeba zauważyć, że przytoczone przez Tempczyka kryteria uznania teorii za rewolucyjną są niewystarczające.

Dosyć powszechnie zmianom rewolucyjnym przypisuje się raczej takie cechy, jak ich radykalność, gwałtowność, przełomowość, intensywność i doniosłość¹⁵. Oczywiście są to kryteria jakościowe, a więc trudno je jasno uchwycić, a ponadto są jeszcze uwikłane w różne uwarunkowania. Niemniej „rewolucyjność” można przypisać zmianom, które doprowadziły do odrzucenia dotychczasowej wiedzy i zastąpienia jej nową wiedzą, całkowicie z nią sprzeczną. W innym przypadku mielibyśmy do czynienia jedynie ze zmianą antykumulatywną. W ocenie radykalności zmian dużą wagę przypisuje się znaczeniu i ważności, jaką w całym systemie wiedzy miały odrzucane teorie. Kontrowersje dotyczące tego zagadnienia doprowadziły do typologii rewolucji naukowych np. rozróżnienia na rewolucje globalne i lokalne.

Aby w pełniejszym świetle zobaczyć cały problem warto zebrać bardziej udokumentowany materiał faktograficzny, zanalizować procedury naukotwórcze (odkrywania, wyboru, akceptacji, opisu, wyjaśniania) prowadzące do zmian, czynniki epistemiczne i pozaepistemiczne. W jakiej kategorii mieści się teoria chaosu? Trudno orzec bez wnikliwych badań w wyszczególnionych kierunkach. Na pewno nie doprowadziła ona do odrzucenia żadnej ze znanych teorii – kwestia ciągłości i nieciągłości jest tu raczej ja-

¹³Por. M. Tempczyk, *Teoria chaosu a filozofia*, Warszawa 1998, ss. 178–185.

¹⁴Zob. A. Lemańska, *Chaos deterministyczny – rewolucja w nauce?*, [w:] *Studia Philosophiae Christianae* 1 (1999), ss. 105–113.

¹⁵Omówienie zagadnienia wraz z literaturą: np. zob. J. Turek, *Wszechświat dynamiczny. Rewolucja naukowa w kosmologii*, Lublin 1995, s. 279nn.

sna i wskazuje na pewną ewolucję i jakąś postać umiarkowanego antykumulatorywizmu.

6. Uwagi końcowe

Zarysowane w artykule zagadnienia, z pewnością domagają się rozwinięcia. Bardziej szczegółowe badania merytoryczne, jak i dalszy rozwój teorii chaosu dostarczą zapewne większej ilości materiału i subtelniejszych rozróżnień. Wydaje się jednak, że osiągnięto cel tych rozważań. Pokazano, że teoria chaosu deterministycznego rzeczywiście dostarcza pewnych sugestii stymulujących do rozważań w wielu dziedzinach filozoficznych.