Anna Lemańska

Determinizm przyrodniczy a chaos deterministyczny

Studia Philosophiae Christianae 32/1, 203-211

1996

Studia Philosophiae Christianae
ATK
32 (1996) 1

ANNA LEMAŃSKA

PAMIĘCI KSIĘDZA SZCZEPANA

DETERMINIZM PRZYRODNICZY A CHAOS DETERMINISTYCZNY

1. Wstęp. 2. Zjawisko chaosu deterministycznego. 3. Zagadnienie determinizmu przyrodniczego.

1. WSTĘP

W tym artykule przez determinizm przyrodniczy rozumiem stanowisko, które najkrócej można sformułować następująco: pomiędzy zdarzeniami w przyrodzie zachodzą stałe związki przyczynowe[1]. Z takim poglądem wiąże się ściśle zasada przyczynowości, która głosi, że te same przyczyny w takich samych warunkach powodują zawsze takie same skutki. Wynika z tego, że jeżeli znamy relacje między zjawiskami, to na tej podstawie możemy odtwarzać i przewidywać bieg zdarzeń w przyrodzie. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że w tej wersji determinizm jest jednym z założeń leżących u podstaw uprawiania nauk przyrodniczych.

Mechanika Newtona przez ponad dwa wieki dostarczała argumentów zwolennikom determinizmu przyrodniczego. Na podstawie jej praw świat zjawisk fizycznych można było wyobrażać sobie w postaci zegara czy mechanizmu, w którym części działają zgodnie z określonymi prawami i gdzie nie ma miejsca na żaden przypadek. Powstała w XIX w. mechanika statystyczna, badająca wielkie zbiorowiska cząstek, nie zachwiała takim obrazem świata. Z praw mechaniki Newtona wynikało bowiem, że ruch każdej molekuły jest ściśle zdeterminowany, a tylko zbyt wielka ilość elementów uniemożliwia śledzenie ruchu pojedynczych cząstek i konieczność posługiwania się

[1] Trzeba pamietać, że teza determinizmu przyrodniczego może odnosić się do trzech różnych płaszczyzn: ontologicznej, gnozeologicznej i metodologicznej.

prawami statystycznymi[2]. Dopiero mechanika kwantowa, w której opis probabilistyczny należy do istoty teorii, wymusiła rewizję ściśle mechanicystycznego poglądu na rzeczywistość. Dobrze znane są spory toczone między zwolennikami różnych interpretacji mechaniki kwantowej. W celu ratowania zaś zasady przyczynowości rozszerzono ją z jednoznacznej na statystyczną, niejednoznaczną.

Badania układów nieliniowych, które służą do modelowania rozmaitych zjawisk począwszy od fizycznych, biologicznych, chemicznych, aż po ekonomiczne i społeczne, zaowocowały wynikami ukazującymi zagadnienie determinizmu w jeszcze innym świetle.

Układy równań różniczkowych i różnicowych można podzielić na dwie klasy. W pierwszej znajdują się układy, których wszystkie rozwiązania (bez względu na wartości występujących w nich parametrów) są stabilne, tzn. niewielka zmiana warunków początkowych powoduje również niewielką zmianę rozwiązania. Do drugiej należą takie, których rozwiązania dla pewnych wartości parametrów są „wrażliwe" na warunki początkowe – niewielka zmiana warunków powoduje znaczne zmiany rozwiązania.

Do niedawna fizycy zajmowali się głównie procesami modelowanymi przy pomocy układów z rozwiązaniami stabilnymi. Dzięki tym modelom możemy w miarę dokładnie przewidywać przyszłość i odtwarzać przeszłość. Wydawało się, że procesy opisywane przy pomocy układów z rozwiązaniami niestabilnymi pojawiają się rzadko i stanowią mało znaczący margines. Badania ostatnich lat zmieniły zupełnie ten obraz. To procesy stabilne są wyjątkiem, procesy niestabilne zaś są regułą w przyrodzie.

Układy z rozwiązaniami niestabilnymi mają jednakże własności, zmuszające do nowego spojrzenia na zasadę przyczynowości oraz problem determinizmu przyrodniczego, zwłaszcza w wersji gnozeologicznej. Wrażliwość na warunki początkowe bowiem praktycznie uniemożliwia dokonywanie długookresowych przewidywań, zaś zjawisko tzw. chaosu deterministycznego powoduje, że po pierwsze w niektórych sytuacjach procesu niezdeterminowanego nie jesteśmy w stanie odróżnić od zdeterminowanego, a po drugie wybrać odpowiedniego modelu z pewnej klasy modeli.

---

[2] „Mechaniczny opis takich układów [tzn. układów złożonych z dużej liczby elementów – przyp. A.L.] byłby deterministyczny i odwracalny, jednak jest on niemożliwy z powodu wysokiego stopnia komplikacji układów i niemożliwości dokładnego pomiaru wszystkich ważnych parametrów. Dlatego trzeba odwołać się do opisu statystycznego, korzystającego z tych wielkości makroskopowych, które mogą być rzeczywiście zmierzone" (M. Tempczyk, *Teoria chaosu – rewolucja przez ewolucję*, Zagadnienia Naukoznawstwa 26 (1990) 3, 456).

W tym artykule chciałabym zasygnalizować problemy, które odnoszą się do determinizmu i przyczynowości w przyrodzie, a powstają w trakcie prób interpretacji wyników uzyskanych w badaniach nad układami z chaosem deterministycznym.

2. ZJAWISKO CHAOSU DETERMINISTYCZNEGO

Istotę zjawiska chaosu deterministycznego spróbuję przybliżyć na przykładach modeli szybkości zmian liczebności populacji zaczerpniętych z klasycznej ekologii[3].

Przy założeniu ciągłości procesów zachodzących w populacji można te procesy modelować przy pomocy równań różniczkowych. Niech N oznacza zagęszczenie populacji, t – czas, r, K – stałe. Przy pewnych dodatkowych założeniach dotyczących populacji, środowiska oraz zmian zagęszczenia uzyskujemy w szczególności równania:
1. Malthusa wzrostu wykładniczego o postaci: $dN/dt = rN$, którego rozwiązaniem jest funkcja wykładnicza: $N(t) = N_0e^{r(t-t_0)}$, gdzie N_0 – początkowe zagęszczenie w chwili t_0;
2. logistyczne: $dN/dt = r(1-N/K)N$, którego rozwiązaniem jest funkcja: $N(t) = (KN_0e^{r(t-t_0)})/(K-N_0 + N_0e^{r(t-t_0)})$;
3. Gompertza: $dN/dt = r\ln(K/N)$;
4. Hutchinsona logistyczne z opóźnieniem: $dN(t)/dt = N(t)r[1-N(t-T)/K]$.

Równania te mają stabilne rozwiązania. Co więcej, rozwiązaniami równań 1, 2 i 3 mogą być tylko funkcje stałe lub monotoniczne. Jeżeli funkcja będąca rozwiązaniem jest ograniczona, to dąży, przy t rosnącym nieograniczenie, do pewnej stałej wartości zagęszczenia. Rozwiązania równania 4 przejawiają większą różnorodność zachowań. W zależności od wielkości opóźnienia T rozwiązanie może: (1) dążyć asymptotycznie do stałej wartości zagęszczenia, (2) charakteryzować się zanikającymi oscylacjami wokół tej wartości, (3) charakteryzować się rozbieżnymi oscylacjami, (4) oscylować w pewien określony sposób. Jak widać, w powyższych modelach mamy do czynienia z niewielkim możliwym spektrum zachowań populacji. Na ich podstawie łatwo też dokonywać długookresowych prognoz.

Znacznie ciekawsze z punktu widzenia matematyka są modele z czasem dyskretnym, które dotyczą procesów ze swej natury nieciągłych, np. populacji z nie zachodzącymi na siebie pokoleniami. Zmiany liczebności takich populacji mogą być opisane przy pomocy równań różnicowych. Jednym z najczęściej stosowanych jest

[3] Przedstawione poniżej modele są szczegółowo omówione w: J. Uchmański, *Klasyczna ekologia matematyczna*, Warszawa 1992, 11-54.

odpowiednik różniczkowego równania logistycznego o postaci: $N_{n+1}=N_n[1+r(1-N_n/K)]$. N_n jest maksymalną liczebnością populacji w sezonie, a n oznacza kolejny numer sezonu lub pokolenia. Podstawiając $a=1+r$, $b=r/K$, $x_n=(b/a)N_n$ otrzymujemy równanie różnicowe logistyczne w postaci: $x_{n+1}=ax_n(1-x_n)$. Aby uzyskać wyniki, które są sensowne biologicznie, a musi należeć do przedziału (1,4).

Okazuje się, że dla $a>3$ zmiany liczebności populacji z pokolenia na pokolenie mogą wykazywać bardzo skomplikowane zachowanie. Zbadajmy zatem, jak zachowują się rozwiązania tego równania w zależności od wartości parametru a.

Rozważmy mianowicie odwzorowanie domkniętego odcinka [0,1] w siebie $f_a(x)=ax(1-x)$ zależne od parametru a, przyjmującego wartości z przedziału [1,4]. Dla dowolnego x_o należącego do przedziału (0,1) utwórzmy ciąg $\{x_o, x_1, x_2, ..., x_n, ...\}$, gdzie $x_{n+1}=f_a(x_n)$. Ciąg ten nazywamy trajektorią punktu x_o.

Wprowadźmy następujące definicje:

1. jeżeli $f_a(x_o)=x_o$, to punkt x_o nazywamy punktem stałym odwzorowania f_a;
2. jeżeli istnieje liczba naturalna $p>1$ taka, że $x_o=f^p{}_a(x_o)$ i $x_o\neq f^k{}_a(x_o)$ dla $0<k<p$, to x_o nazywamy punktem okresowym o okresie p; wtedy ciąg $\{x_o, f_a(x_o), ..., f^{p-1}{}_a(x_o)\}$ nazywamy okresową orbitą punktu x_o; $f^k{}_a$ oznacza k-krotne złożenie funkcji f_a.

Zobaczmy, w jaki sposób zachowują się trajektorie punktów z odcinka [0,1] w zależności od wartości parametru a. Jeżeli a należy do przedziału (1,3), to dla dowolnego x_o z przedziału (0,1) trajektoria punktu x_o jest zbieżna do punktu stałego odwzorowania f_a, który jest równy $x_s=1-1/a$ (mówimy wtedy, że punkt stały przyciąga trajektorię). Zatem jeżeli $1<a<3$, to ilość organizmów w populacji ustali się po pewnym czasie na stałym poziomie x_s. W tym przypadku ewolucja populacji jest w pełni przewidywalna.

Istotne jakościowe zmiany w ewolucji populacji następują, gdy wartość parametru a przekracza 3. Dla $a=3$ następuje „bifurkacja podwojenia okresu”, czyli punkt x_s przestaje przyciągać trajektorie, pojawia się natomiast okresowa orbita o okresie 2. Dla a z przedziału $(3, 1+\sqrt{6})$ orbita ta przyciąga trajektorie wszystkich punktów z odcinka (0,1), za wyjątkiem punktu stałego x_s. Dla $a=1+\sqrt{6}$ znowu następuje bifurkacja podwojenia okresu. Pojawia się okresowa orbita o okresie 4, przyciągająca trajektorie wszystkich punktów z odcinka (0,1) za wyjątkiem punktu stałego i orbity o okresie 2. Można udowodnić, że istnieje nieskończony ciąg $a_o, a_1,...$ punktów bifurkacji podwojenia okresu. W punkcie a_k orbita o okresie 2^k traci stabilność i powstaje stabilna orbita o okresie 2^{k+1}. Ciąg $a_o, a_1,...$ jest zbieżny do $a_b = 3{,}56995\dots$. Zjawisko kolejnych bifurkacji podwajania okresu nosi nazwę kaskady Feigenbauma.

Dla parametrów $a > a_b$ rozwiązania tracą stabilność. Występuje tu nieprzeliczalnie wiele takich wartości parametru a, dla których nie istnieje żadna stabilna orbita okresowa. Pojawiają się jednakże tzw. „okna", czyli takie przedziały, w których występują stabilne okresowe orbity, przyciągające trajektorie punktów z odcinka (0,1). Dla takiej orbity zachodzi analogiczne zjawisko jak w kaskadzie Feigenbauma: wraz ze zwiększaniem się parametru a stabilna orbita nieskończenie wiele razy kolejno podwaja swój okres[4].

W tym modelu dla wartości parametru $a > a_b$ obserwujemy zjawisko „chaosu deterministycznego". Niewielka zmiana wartości parametru a może spowodować dużą zmianę jakościową w zachowaniu się trajektorii wybranego punktu. Dzieje się tak dlatego, że wartości parametru a, dla których ewolucja jest chaotyczna, są wymieszane w skomplikowany sposób z takimi, dla których ewolucja jest okresowa. Powoduje to w praktyce niemożliwość dokonywania długookresowych prognoz zachowania się populacji. Nie jesteśmy bowiem w stanie eksperymentalnie wyznaczyć dla organizmów określonego gatunku dokładnej wartości współczynnika a, występującego w równaniu opisującym ewolucję populacji oraz początkowej wartości x_0. Możemy te wielkości znać tylko z pewnym przybliżeniem. Jeżeli parametr a jest większy niż a_b, to niewielka jego zmiana może dać zupełnie odmienny przebieg trajektorii tego samego punktu. Na przykład dla $x_0 = 0{,}25$, $x_{20} = 0{,}72$ przy wartości parametru $a = 3{,}71$, natomiast dla $a = 3{,}72$, $x_{20} = 0{,}91$. Podobnie, dla $a > a_b$ dokonanie nawet niewielkiej zmiany wartości początkowej x_0 spowoduje „rozejście się" trajektorii. Na przykład dla wartości parametru $a = 3{,}71$ trajektorie punktów 0,250 i 0,251 będą następujące: {0,250; 0,695; 0,785; 0,625; 0,869; 0,421; 0,904; 0,320; 0,808; 0,574; 0,906; 0,313; 0,797; 0,598; 0,891}, {0,251; 0,697; 0,782; 0,630; 0,864; 0,435; 0,912; 0,297; 0,774; 0,647; 0,847; 0,479; 0,926; 0,254; 0,703} [obliczenia w obu przykładach moje – A.L.]. W tych przykładach trajektorie punktów rozchodzą się już po kilku iteracjach.

3. ZAGADNIENIE DETERMINIZMU PRZYRODNICZEGO

Ukazane na przykładzie różnicowego modelu populacji zjawisko chaosu deterministycznego występuje w bardzo wielu rozmaitych zjawiskach w przyrodzie, społeczeństwie, ekonomii itp., opisywa-

[4] Opis dynamiki można znaleźć w Z. Kuderowicz, *Fraktale i chaos*, Warszawa 1993, 20-29.

nych przy pomocy nieliniowych układów dynamicznych. Własności modeli takich zjawisk sprawiają nieoczekiwane dla nas, na poziomie poznawczym, trudności.

Opisane matematyczne modele szybkości zmian zagęszczenia populacji opierają się na założeniach dotyczących własności populacji i środowiska. Przyjęte założenia prowadzą do określonej klasy modeli. W modelach tych występują stałe charakteryzujące daną populację w określonym środowisku. Aby przetestować otrzymany w ten sposób model oraz na jego podstawie dokonywać przewidywań, należy wyznaczyć doświadczalnie te stałe. Każdy wynik pomiaru (oprócz najprostszych sytuacji) jest obarczony błędem, którego wielkość zależy od użytych narzędzi pomiarowych. Dla modeli ze stabilnymi rozwiązaniami z reguły błędy te nie nastręczają większych problemów, gdyż mały błąd praktycznie nie będzie miał żadnego znaczenia przy prognozowaniu. Sytuacja jest zupełnie odmienna dla tych modeli, w których występuje chaos deterministyczny. Ponieważ w praktyce z reguły nie mamy pełnej wiedzy o populacji, więc dane początkowe możemy znać tylko z pewnym przybliżeniem. W tym jednakże przypadku nawet niewielki błąd na początku będzie się wykładniczo powiększał, powodując nieużyteczność modelu dla długookresowego prognozowania. Mimo posiadania w pełni deterministycznego modelu nie możemy na jego podstawie przewidzieć zachowania się populacji[5].

Te procesy, które są opisywane przy pomocy układów dynamicznych, w których pojawia się chaos deterministyczny, są zatem dla nas praktycznie nieprzewidywalne. Nie są możliwe żadne długookresowe prognozy. Natomiast samo zjawisko przebiega według deterministycznego schematu. Nieprzewidywalność jest związana z niedoskonałością naszych narzędzi pomiarowych. Gdyby pomiary ze stuprocentową dokładnością były możliwe, to moglibyśmy dokonywać, na podstawie dokładnych rozwiązań równań, ścisłych przewidywań. Problem niemożliwości dokonywania prognoz jest więc związany z obserwatorem, z jego zdolnościami do wykonywania pomiarów i obliczeń, a nie z istotą opisywanego procesu.

[5] „In fact, in all those cases in which the initial state is given with limited precision [...], we can observe a situation in which, when time becomes large, two trajectories emerge from the 'same' initial point. So, even though there is a deterministic situation from a mathematical point of view [...], neverthless the exponential growth of errors makes the time evolution self-independent from its past history and then nondeterministic in any practical sense". (D. Ruelle, *Chaotic Evolution and Strange Attractors. The statistical analysis of time series for deterministic nonlinear systems*, Cambridge University Press 1989, 7).

Niemożliwość dokonywania przewidywań na podstawie posiadanego modelu nie jest jedyną konsekwencją pojawiania się zjawiska chaosu deterministycznego. Następne powstają z chwilą wyboru jednego z wielu konkurencyjnych modeli. Jeżeli przewidywania uzyskane na podstawie dwóch odmiennych modeli na początku różnią się niewiele nie będziemy w stanie określić, który z modeli (a może żaden z nich) opisuje zachowanie się rzeczywistej populacji. Wybór będzie zatem dokonywany na podstawie pewnych założeń, a nie na porównywaniu wyników między zaobserwowanymi dla populacji a tymi, które przewiduje model. Nie mamy zatem metody doświadczalnej pozwalającej rozstrzygać, który z konkretnych modeli z danej klasy opisuje rzeczywistą populację. Podobne bowiem własności, jak odwzorowanie logistyczne, które w rozpatrywanym przykładzie posłużyło do utworzenia modelu szybkości zmian liczebności populacji, posiadają i inne funkcje z jednym punktem maksymalnym, przekształcające odcinek [0, 1] w siebie. Wyniki eksperymentów mogą co najwyżej potwierdzać, że badana sytuacja może być opisana przy pomocy takiego modelu, w którym pojawia się zjawisko bifurkacji podwajania okresu, prowadzące do chaosu deterministycznego. Dany proces może zatem być modelowany przy pomocy różnych matematycznych funkcji. „Prawdopodobnie najlepiej byłoby przyjąć, że dowody eksperymentalne, takie jakie mamy, wskazują na całą klasę modeli, a nie na jeden konkretny"[6].

Jeżeli mamy do czynienia ze zjawiskiem, w którym pojawia się chaos deterministyczny, to jego przebieg może być bardzo „wrażliwy" na wpływ najrozmaitszych przypadkowych zewnętrznych czynników, których obecności nie będziemy w stanie nawet zauważyć. Zaburzenia bowiem nie muszą odbywać się „blisko" badanego przez nas procesu[7]. Tym samym może okazać się niemożliwe wyizolowanie danego zjawiska spośród innych, dla nas w danej chwili nieistotnych, a także stworzenie ponownie dokładnie takich samych warunków początkowych doświadczenia. Zatem badanie empiryczne napotyka na nieprzezwyciężalne trudności. Jednocześnie A. Fuliński zwraca uwagę na jeszcze inny aspekt występowania zjawisk, opisywanych przez modele, w których pojawia się chaos deterministyczny. Otóż „lokalny bodziec może spowodować skutki

[6] I. Stewart, *Czy Pan Bóg gra w kości? Nowa matematyka chaosu*, Warszawa 1994, 313; por. także 243-244.

[7] Mamy tu do czynienia z tzw. „efektem motyla". Określenie to zostało użyte przez E. N. Lorenza, który badając swoje równania opisujące dynamikę atmosfery, stwierdził, że „machnięcie skrzydłem przez motyla na równiku może być odczute w naszych szerokościach geograficznych jako huragan, którego by jednak nie było, gdyby motyl nie pomachał skrzydłami" (J. Uchmański, *dz. cyt.*, 47).

o charakterze globalnym. Warto więc pamiętać o nieliniowej fizyce, gdzie właśnie wszystko jest powiązane ze wszystkim i gdzie drobna zmiana w jednym miejscu może wywołać bardzo duży a niespodziewany 'na zdrowy rozum' skutek w miejscu zupełnie niespodziewanym"[8].

Inne jeszcze problemy powstają przy poszukiwaniu modelu obserwowanego zjawiska. Jeżeli w badanej populacji zmiany zagęszczenia populacji następują zgodnie z równaniem różnicowym logistycznym, dla którego $a<3$, to pomiary zagęszczenia w kilku pokoleniach pozwolą nam na zaobserwowanie prawidłowości, dzięki którym będziemy mogli stworzyć odpowiedni model. Trudności zaczynają się, gdy a przekracza 3. Dla pewnych wartości a będziemy obserwować cykle o okresie 2, 4, 8. W tym przypadku, jak się wydaje, stworzenie odpowiedniego modelu nie będzie jeszcze nastręczać większych trudności. Gdy jednakże cykl wynosi 16, aby zaobserwować regularności, trzeba czekać ponad 16 pokoleń. Przy cyklach jeszcze dłuższych praktycznie nie jesteśmy w stanie stwierdzić, czy mamy do czynienia z długim cyklem, czy też jesteśmy w takim obszarze parametru, dla którego nie istnieją okresowe cykle, czy wreszcie mamy do czynienia z zupełnie przypadkowym, chaotycznym zachowaniem się populacji. W obszarze parametru $a>a_b$ nie mamy w zasadzie żadnych narzędzi, aby odróżnić populację zachowującą się w sposób zdeterminowany, wyznaczony przez prawo deterministyczne, czy też w sposób niezdeterminowany, przypadkowy, losowy.

Rozstrzygnięcie, z jakiego typu zjawiskiem mamy do czynienia: zdeterminowanym czy losowym, musi się dokonać na zupełnie innej drodze niż indukcyjne uogólnienie danych empirycznych. Otóż możemy przyjąć zdeterminowanie pewnych zjawisk, jeżeli dysponujemy podstawowymi prawami, które pozwalają utworzyć model matematyczny interesującego nas zjawiska czy procesu, w którym pojawi się chaos deterministyczny. Tak się dzieje na przykład z ruchem punktu materialnego w polu grawitacyjnym wytworzonym przez dwie duże masy. Z prawa grawitacji (w tym przypadku jest to prawo podstawowe) wiemy, że ruch ten podlega prawu deterministycznemu. W odniesieniu do zjawisk biologicznych, ekonomicznych czy społecznych nie mamy do dyspozycji jakichś podstawowych, ogólnych praw, z których wynikałyby zachowania pewnych szczególnych układów. Stąd tworzenie modelu, na przykład zmian zagęszczenia populacji, odbywa się na podstawie zdroworozsądkowych założeń, wybieranych w pewnym sensie arbitralnie[9]. Przyjmuje się

[8] A. Fuliński, *O chaosie i przypadku,* Znak 45 (1993) 5, 44.
[9] Por. J. Gleick, *Chaos. Narodziny nowej nauki,* Poznań 1996, 68-69.

również milcząco zakładane założenie, że zmiany zagęszczenia populacji są zdeterminowane przez własności samej populacji oraz środowiska. Badania własności modeli, w których pojawia się chaos deterministyczny, ukazują nam szereg problemów, pojawiających się przy testowaniu takich modeli oraz posługiwaniu się nimi do opisu zjawisk zachodzących w rzeczywistych populacjach.

Mamy zatem do czynienia z paradoksalną w pewnym sensie sytuacją – zjawisko wprawdzie może przebiegać zgodnie z prawami deterministycznymi, to dla nas, dla obserwatora, wydaje się być chaotyczne, niedeterministyczne. Co więcej, na podstawie obserwacji takich zjawisk nie jesteśmy w stanie stwierdzić, czy jest ono zdeterminowane, czy niezdeterminowane, czy istotną rolę odgrywa w jego przebiegu przypadek, czy też mamy do czynienia z przykładem zjawiska, w którym pojawia się chaos deterministyczny. Przyjęcie determinizmu teoriopoznawczego i metodologicznego wydaje się koniecznym założeniem dla uprawiania nauk przyrodniczych. Jest to jednakże założenie, które nie jest weryfikowane empirycznie. Jak się wydaje, mamy za słabe „narzędzia", aby taka weryfikacja była możliwa.

W płaszczyźnie teriopoznawczej, jak się wydaje, konieczne staje się zatem odróżnienie między determinizmem teoretycznym a praktycznym. Według determinizmu teoretycznego jest możliwe znalezienie takiej teorii, która na podstawie dokładnej znajomości stanu badanego układu w przeszłości pozwala opisać stan tego układu w przyszłości. Natomiast determinizm praktyczny stwierdza, że na podstawie takiej teorii jesteśmy w stanie dokonywać przewidywań zachowania się tego układu. Istnienie zjawiska chaosu deterministycznego powoduje, że możliwa staje się sytuacja, w której mamy do czynienia z teoretycznym determinizmem i praktycznym indeterminizmem.

DETERMINISM AND DETERMINISTIC CHAOS

Summary

The goal of this paper is to indicate some problems which occur when processes in nature are being investigated by models with deterministic chaos. The theory of deterministic chaos shows the problem of determinism in the new light. In a framework of the epistemological determinism we can distinguish theoretical and practical determinism. The same phenomenon can be theoreticaly deterministic and practicaly indeterministic.