

Anna Lemańska

Kilka uwag o zdeterminowaniu przyrody

Studia Philosophiae Christianae 39/2, 221-235

2003

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

ANNA LEMAŃSKA
Instytut Filozofii UKSW

KILKA UWAG O ZDETERMINOWANIU PRZYRODY

Problem zdeteterminowania przyrody jest jednym z najstarszych zagadnień filozoficznych. Odpowiedź na pytanie, czy wszystko w świecie fizycznym odbywa się zgodnie z zasadami, które w pełni określają bieg zdarzeń, jest bardzo ważna dla zrozumienia przyrody. Odpowiedzieć jednoznacznie na to pytanie jest jednak bardzo trudno i to z wielu powodów¹. Jednym z nich jest to, że przyroda jawi się jako złożona, wielopoziomowa, wieloaspektowa. W artykule skoncentruję się tylko na jednej szczegółowej kwestii, a mianowicie na próbie odpowiedzi na pytanie: czy jesteśmy w stanie przewidywać przyszłe zdarzenia lub przebieg procesów w przyro-

¹ Trudności te znajdują swoje odbicie już na płaszczyźnie językowej: termin determinizm nie jest mianowicie terminem jednoznacznym. W potocznym rozumieniu zdeteterminowany oznacza uwarunkowany, określony, ograniczony, zależny, rozstrzygnięty, wyznaczony, dający się wyznaczyć, dający się przewidzieć, prawidłowy. Te określenia w pewnym zakresie wyznaczają rozumienie terminu determinizm traktowanego jako termin filozoficzny. Nie oznacza to bynajmniej, że istnieje tylko jedno filozoficzne rozumienie stanowiska determinizmu. W literaturze dokonuje się na rozmaite sposoby klasyfikacji stanowisk determinizmu oraz indeterminizmu, a także wymienia się różne rozumienia bądź odmienne aspekty tych kierunków. Można w szczególności mówić, na przykład, o determinowaniu przyczynowym, celowościowym, statystycznym, wyróżniać determinizm (bądź indeterminizm) ontologiczny, epistemologiczny, metodologiczny, skrajny, umiarkowany. Z reguły przy określaniu determinizmu (indeterminizmu) trzeba wziąć pod uwagę również rozumienie takich pojęć, jak: przyczyna, skutek, związek przyczynowy, oddziaływanie, przypadek, prawdopodobieństwo. Również te pojęcia posiadają wiele odcieni znaczeniowych. W następujących pracach można znaleźć klasyfikację stanowisk determinizmu i indeterminizmu: S. Amsterdamski, *Różne pojęcia determinizmu*, Studia Filozoficzne 37(1964)2, 85-93; S. Kiczuk, *Związek przyczynowy a logika przyczynowości*, Lublin 1995; W. Krajewski, *W sprawie pojęcia determinizmu*, Studia Filozoficzne 39(1964)4; S. Mazierski, *Elementy kosmologii przyrodniczej i filozoficznej*, Poznań-Warszawa-Lublin 1972, 268-348; S. Mazierski, *Determinizm i indeterminizm w aspekcie fizycznym i filozoficznym*, Lublin 1961.

dzie, bądź odtwarzać przeszłość. Odpowiedź na to pytanie w pewnym zakresie warunkuje opowiedzenie się bądź za stanowiskiem determinizmu, bądź indeterminizmu, nie jest jednak równoznaczną z koniecznością przyjęcia którejś z tych koncepcji.

Codziennie doświadczenie pokazuje, że jesteśmy w stanie przewidywać przebieg wielu zdarzeń. Często to przewidywanie odbywa się już na poziomie naszych instynktownych zachowań lub niejako automatycznych, wyuczonych odruchów. Także potoczna obserwacja otaczającej nas rzeczywistości ukazuje świat w znacznym stopniu uporządkowany. Zjawiska, procesy, rzeczy są w nim regulowane przez prawidłowości. Obserwujemy w przyrodzie pewne stałe następstwa zdarzeń czy zjawisk, co powoduje, że jesteśmy w stanie, przynajmniej w pewnym zakresie, przewidzieć, co nastąpi w przyszłości. Oczywiście rozmaite skomplikowane powiązania między rzeczami i zdarzeniami w przyrodzie często nas zaskakują. Czasem nie umiemy przewidzieć tego, co stanie się za chwilę, zwłaszcza jeśli chodzi o zjawiska w świecie ożywionym czy w relacjach międzyludzkich. Jednak w przyrodzie pewne stany rzeczy, pewne zjawiska nie mogą zajść, co sprawia, że nasze przewidywanie przyszłości jest z reguły ograniczone przez wybór jednej z niewielu możliwości, które w danej sytuacji mogą się zdarzyć. Łatwo stwierdzić, jak wiele w przyrodzie występuje ograniczeń. To, co się może zdarzyć, co jest „dozwolone”, stanowi niewielki fragment wszystkich możliwości. Istnienie tych ograniczeń pozwala na przewidywanie przyszłości oraz na odtwarzanie przeszłości, która doprowadziła do danego w teraźniejszości stanu rzeczy. Co więcej, gdyby nie dało się przewidywać większości zjawisk i zdarzeń (zwłaszcza na poziomie naszego codziennego doświadczenia), to życie nie byłoby możliwe, a w przyrodzie nie mogłyby powstawać i utrzymać się żadne złożone struktury.

Wnioski płynące z powyższego obrazu świata uzasadniają możliwość przyjęcia jakiejś wersji zasady przyczynowości. W swej wersji deterministycznej (jedno-jednoznacznej) brzmi ona następująco: „w rzeczywistości materialnej bieg zjawisk jest tak zdeterminowany, że takie same przyczyny w takich samych warunkach wywołują zawsze i z konieczności fizycznej takie same skutki”².

² S. Mazierski, *Elementy kosmologii przyrodniczej i filozoficznej*, dz. cyt., 285.

W świetle doświadczeń i obserwacji przyrody wersja ta może wydawać się zbyt radykalna. Stosunkowo łatwo bowiem wskazać takie zdarzenia (na przykład rzut kostką czy jutrzejsza pogoda), jakich przebiegu nie jesteśmy w stanie przewidzieć jednoznacznie. Toteż można sformułować słabszy wariant zasady przyczynowości, a mianowicie: takie same przyczyny w takich samych warunkach wywołają z określonym prawdopodobieństwem jeden z możliwych skutków³ lub krócej: taka sama przyczyna wywoła jeden z możliwych skutków ze ściśle określonego ich zbioru.

Zasada przyczynowości opiera się na przekonaniu, że w przyrodzie istnieją stałe następstwa zdarzeń. Istnienie stałych następstw zdarzeń stanowi zarazem warunek konieczny dla dokonywania przewidywań. W świecie fizycznym jednak stosunkowo rzadko mamy do czynienia z sytuacjami, w których tylko jedno zdarzenie (przyczyna) sprawia zajście drugiego zdarzenia (skutku). Z reguły występują ciągi zdarzeń. W takich przypadkach, żeby przewidywać, co się wydarzy, trzeba mieć również jakiś pogląd na przebieg całego procesu. Ten pogląd stanowi treść teorii przyrodniczej, a stałe następstwa zdarzeń zostają ujęte przez przyrodnika w prawach przyrody. Toteż zasada przyczynowości, jak się wydaje, jest milcząco przyjmowanym założeniem leżącym u podstaw metody badawczej nauk przyrodniczych.

Aby przybliżyć pewne problemy związane z trudnościami, które są nieodłącznie związane z zagadnieniem przewidywalności, rozpatrzę je na przykładzie trafiania kamieniem do celu. Na tym bardzo prostym przykładzie można prześledzić problem przewidywalności przyrody w różnych jego aspektach.

Każdy, kto trochę poćwiczrzy rzucanie kamieniem, będzie umiał prawie za każdym razem trafić w cel. Można nauczyć się trafiać różnymi kamieniami, z różnych odległości. Jeżeli tor lotu kamienia nie byłby w pewien sposób wyznaczony, nie podlegałby pewnym prawidłowościom, to nauka trafiania do celu nie miałaby żadnego sensu. Zasada przyczynowości jednoznacznej zastosowana w tym przypadku stwierdza, że sytuacja początkowa, czyli sposób wyrzucenia kamienia, determinuje cały przebieg lotu kamienia, a więc i to, gdzie on trafi.

³ Por. tamże, 346-347.

Dla dokładniejszego opisanego tego zjawiska potrzebna jest jakaś teoria rzutu kamieniem. Teorie przyrodnicze możemy potraktować jak opisy prawidłowości obserwowanych w przyrodzie. Trzeba jednak pamiętać, że teoria może dostarczać opisu błędnego, a nawet gdy opis nie jest błędny, to jest tylko opisem przybliżonym, mieszczącym się w granicach błędu pomiaru. Nie wykluczona jest zatem sytuacja, że to samo zjawisko może być różnie ujmowane przez odmienne teorie.

Jedną z teorii badających nie tylko ruch kamienia, ale wszelkie ruchy jest mechanika Newtona. Ponieważ opis matematyczny zagadnienia rzutu kamieniem w polu grawitacyjnym Ziemi jest bardzo prosty, warto przeanalizować go dokładnie. Teoria ruchu kamienia wynika z II zasady dynamiki. Ta zasada jest wyrażona za pomocą równania:

$$F = \frac{mdv}{dt},$$

gdzie F jest siłą (jest to funkcja zależna od czasu), v jest prędkością, którą definiuje wzór

$$v(t) = \frac{ds}{dt}.$$

Załóżmy, że kamień został wyrzucony pod kątem α z początkową prędkością v_0 . Ruch kamienia odbywa się w polu grawitacyjnym Ziemi pod wpływem siły ciężenia. Pomijamy siły tarcia i oporu powietrza. Wtedy $F=mg$, gdzie g jest stałą grawitacji. Te założenia określają jednoznacznie sytuację początkową.

Prędkość kamienia rozkłada się na prędkość poziomą i pionową. Ponieważ w ruchu w kierunku poziomym na kamień nie działają żadne siły, jego ruch odbywa się ze stałą prędkością, czyli jest to ruch jednostajny. W kierunku pionowym ruch odbywa się pod wpływem siły grawitacji. Zatem w przypadku rzutu kamieniem otrzymujemy następujący układ równań:

$$\begin{cases} v_x = \text{const.} \\ F = -m \frac{dv_y}{dt} \\ v_{x_0} = v_0 \cos \alpha \\ v_{y_0} = v_0 \sin \alpha. \end{cases}$$

Rozwiązaniem tego układu jest:

$$\begin{cases} v_y(t) = -gt + v_0 \sin \alpha \\ v_x(t) = v_0 \cos \alpha \end{cases}$$

Jeżeli chcemy wyznaczyć przebytą przez kamień drogę, to musimy scałkować funkcje określające prędkości:

$$x(t) = \int_0^t v_0 \cos \alpha dt = tv_0 \cos \alpha$$

$$y(t) = \int_0^t (-gt + v_0 \sin \alpha) dt = \left[-\frac{gt^2}{2} + tv_0 \sin \alpha \right]_0^t = -\frac{gt^2}{2} + tv_0 \sin \alpha$$

Jeżeli zaś chcemy wyznaczyć tor kamienia, to z równania $x(t) = tv_0 \cos \alpha$ wyznaczamy t i podstawiamy do równania drugiego. Stąd

$$y = -\frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} + v_0 \sin \alpha \frac{x}{v_0 \cos^2 \alpha}$$

Łatwo zauważyć, że jest to równanie paraboli. Wyniki przeprowadzonych obliczeń pokazują, że dla danych v_0 i α ruch kamienia jest jednoznacznie wyznaczony, czyli określone są jednoznacznie jego tor i prędkość w każdym momencie trwania ruchu.

Równania Newtona pozwalają obliczać trajektorię ruchu dowolnych ciał, poruszających się pod wpływem dowolnych sił, o ile znane są położenia i prędkości ciał w jednym, wybranym momencie⁴. Toteż z praw dynamiki Newtona wyłania się obraz świata, w którym (po określeniu warunków początkowych) wszystkie ruchy są zdeterminowane. Problem z przewidywaniem sprowadza się do zmierzenia wartości parametrów i rozwiązania odpowiedniego układu równań. W kontekście mechaniki Newtona wydaje się zatem być uzasadnione marzenie Laplace'a, wyrażone w jego słynnym stwierdzeniu: „Umysł, który w danej chwili znałby wszystkie siły ożywiające przyrodę i odpowiednie położenia składających się na nią bytów, który by ponadto był dostatecznie potężny, aby te dane poddać rachunkowi, zdołałby objąć tym samym wzorem ruchy

⁴ Istnienie i jednoznaczność rozwiązania odpowiedniego układu równań różniczkowych wynika z twierdzeń matematycznych.

największych ciał wszechświata i ruchu najlżejszego atomu: nie pozostawałoby dlań nic niepewnego – i przyszłość zarówno jak przeszłość roztaczałaby się przed jego oczami”⁵.

W powyższym obrazie przyrody należy dokonać pewnych modyfikacji w przypadku, gdy mamy do czynienia z „kamieniem”, który porusza się z prędkością porównywalną z prędkością światła. Wtedy do opisu ruchu nie można już zastosować mechaniki Newtona, którą trzeba zastąpić szczególną teorią względności. W tym przypadku w równaniach dynamiki należy uwzględnić to, że zmieniać się może nie tylko prędkość, ale i masa zgodnie ze wzorem:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ gdzie } m_0 \text{ masa spoczynkowa.}$$

Zatem w równaniu będącym odpowiednikiem drugiej zasady dynamiki zmieniać się będzie pęd ciała (czyli mv), a nie sama prędkość. Poza tym, jeżeli chodzi o główny problem rozważany w artykule, teoria względności Einsteina nie wnosi w zasadzie nic nowego. Oznacza to, że jeżeli dany jest pewien układ fizyczny i wiemy, jakie w nim i na niego działają siły, oraz umiemy określić stan tego układu, czyli położenie i pędy wszystkich elementów w jakimś momencie t_0 , to rozwiązania odpowiednich układów równań pozwalają na odtworzenie przeszłości i przewidzenie przyszłości tego układu w dowolnym okresie czasu.

Problem przewidywalności komplikuje się jednak znacznie, gdy rozpatrujemy nieco bardziej złożony układ niż tylko jedno ciało poruszające się w centralnym polu grawitacyjnym. Zmodyfikujmy mianowicie nieco nasze doświadczenie. Rozważmy dwa masywne, obracające się ciała, znajdujące się od siebie w pewnej odległości, i niech teraz naszym „kamieniem” będzie cząstka punktowa o małej masie, poruszająca się w polu grawitacyjnym utworzonym przez te masy. Jej ruch jest, jak w poprzedniej sytuacji, w pełni określony przez II zasadę dynamiki, a tor opisany przez rozwiązanie odpowiadające temu zagadnieniu równania. Mamy zatem sytuację z formalnego punktu widzenia taką samą jak w przypadku kamienia w polu

⁵ Cyt. za S. Mazierski, *Elementy kosmologii przyrodniczej i filozoficznej*, dz. cyt., 286.

grawitacyjnym Ziemi. Okazuje się jednak, że nie da się „obliczyć” toru cząstki-kamienia. Nawet ruch płaski jest tak skomplikowany, że można poznać go tylko częściowo⁶. Układ równań, który w tym przypadku opisuje ruch, nie może być bowiem rozwiązany analitycznie, czyli nie da się wyrazić funkcji, która jest jego rozwiązaniem, za pomocą jakiegoś wzoru (jak w przypadku ruchu kamienia w polu grawitacyjnym Ziemi). Jesteśmy „skazani” zatem na rozwiązanie przybliżone, które jednak ze względu na wrażliwość na warunki początkowe może w istotny sposób odbiegać od rzeczywistego rozwiązania. Co więcej, jeżeli będziemy obserwować zachowanie cząstki, to jej ruch wyda się nam chaotyczny, przypadkowy.

Ruch cząstki w polu grawitacyjnym dwóch mas może posłużyć za przykład procesu, w którym istotne znaczenie ma chaos deterministyczny. Pojawiają się tu mianowicie dwa „zjawiska”. Pierwsze wynika z niestabilności rozwiązania, czyli z wrażliwości układu fizycznego na warunki początkowe. Oznacza to, że nieznaczną zmianą wartości parametrów początkowych powoduje istotne, znaczące zmiany rozwiązania. Można to ująć w następującym stwierdzeniu: niewielka przyczyna powoduje ogromny skutek. Ponieważ w praktyce, z reguły, nie mamy pełnej wiedzy o wszystkich parametrach, gdyż nie możemy dokonywać pomiarów ze stuprocentową dokładnością, więc dane początkowe znamy tylko z pewnym przybliżeniem. W tym jednakże przypadku nawet niewielki na początku błąd będzie się wykładniczo powiększał. Długookresowe prognozowanie staje się praktycznie niemożliwe. Mimo posiadania w pełni deterministycznego modelu danego zjawiska nie można na jego podstawie przewidzieć zachowania się układu.

W tych przypadkach, w których mamy do czynienia z chaosem deterministycznym, dla dokonywania prognoz konieczny byłby doskonały umysł, który znałby ze stuprocentową dokładnością warunki początkowe i potrafił rozwiązać odpowiednie równania różniczkowe. Zatem efekt „rzutu kamieniem” w pobliżu dwóch masywnych ciał staje się w praktyce nieprzewidywalny. Nieusuwalne, jak się wydaje, trudności wynikają z powodów czysto matematycznych, a mianowicie z charakteru równań, które opisują w tym przypadku przyrodę.

⁶ W. Thirring, *Fizyka matematyczna*, t. I, *Klasyczne układy dynamiczne*, tłum. z niem. P. Kielanowski, Warszawa 1985, 162.

Drugie „zjawisko” jest związane z tym, że z reguły zachowanie układu, w którym pojawia się chaos deterministyczny, jest tak skomplikowane, że wydaje się ono zupełnie przypadkowe. Teoretycznie zatem mamy do czynienia ze zjawiskiem zdeterminowanym, praktycznie jednak zjawisko przebiega w sposób, który wydaje się być przypadkowy, indeterministyczny. W takich przypadkach jednak teoria chaosu deterministycznego umożliwia ujęcie w prawa takich zjawisk, jakie do tej pory wydawały się przypadkowe, gdzie nie potrafiliśmy dostrzec mechanizmów, które by te zjawiska wywoływały i nimi kierowały, pozwala również na zrozumienie złożonych układów.

Dla niektórych układów dynamicznych (tzw. ergodycznych z mieszaniem) istnieją w przestrzeni fazowej ograniczone podzbiory, do których dążą asymptotycznie trajektorie punktów z otoczenia tego obszaru. Te podzbiory zostały nazwane atraktorami⁷. Ponieważ wszystkie trajektorie są przyciągane przez atraktor, zatem stan równowagi może być osiągnięty na wiele różnych sposobów. Tak więc układ niejako „zapomina” swoją historię: wszystkie drogi prowadzą do tego samego celu. To powoduje, że nie jesteśmy w stanie nie tylko przewidzieć przyszłości, lecz również odtworzyć przeszłości takiego układu.

Procesy opisywane za pomocą 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. Niemożliwość dokonywania prognoz jest związana z obserwatorem, z jego zdolnościami do wykonywania pomiarów i obliczeń, a nie z istotą opisywanego procesu. Należy podkreślić, że z teorii układów dynamicznych nieliniowych nie wynika to, iż świat jest chaotyczny. Wprost przeciwnie, teoria ta wskazuje na determinizm, kryjący się za pozornie tylko chaotycznymi zdarzeniami i procesami. Wyjaśnia zarazem, dlaczego pewne zdarzenia są dla nas nieprzewidywalne. Jednakże za A. Lasotą należy powtórzyć, że „bez względu na to, czy na podstawie naszych obserwacji, doświadczeń i rozważań dojdziemy do wniosku, że świat jest rządzony prawami deterministycznymi, czy też probabilistycznymi, to

⁷ Wśród atraktorów wyróżnia się tzw. dziwne atraktory, które mają ułamkowy wymiar Hausdorffa. Tego typu zbiory B. Mandelbrot nazwał fraktalami.

może to być złudzenie wynikające ze skończonej rozdzielczości naszych instrumentów”⁸.

Mamy zatem do czynienia z paradoksalną w pewnym sensie sytuacją: zjawisko wprawdzie przebiega zgodnie z prawami deterministycznymi, ale dla obserwatora wydaje się być chaotyczne, niedeterministyczne. Co więcej, na podstawie obserwacji nie jest on w stanie stwierdzić, czy zjawisko jest zdeterminowane czy niezdeterminowane.

Warto w tym kontekście zwrócić uwagę na jeszcze jeden problem. Przebieg procesu, w którym pojawia się chaos deterministyczny, z reguły staje się bardzo „wrażliwy” na wpływ najrozmaitszych przypadkowych zewnętrznych czynników, których obecności nie jesteśmy w stanie nawet zauważyć. Zaburzenia bowiem nie muszą odbywać się „blisko” badanego procesu. 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. Determinizm fizyczny i metodologiczny wydaje się być koniecznym założeniem warunkującym uprawianie nauk przyrodniczych. Jest to jednakże założenie, które nie jest weryfikowalne empirycznie. Jak się wydaje, mamy za słabe „narzędzia”, aby taka weryfikacja była możliwa⁹.

Teoria chaosu deterministycznego rzuca zatem nowe światło na problem determinizmu. To, co wydaje się nam nieuporządkowane, chaotyczne, losowe, przypadkowe, może okazać się być ściśle zdeterminowane na innym poziomie. Teoria układów dynamicznych jest teorią deterministyczną. W tym sensie można mówić, że i przyroda jest deterministyczna, gdyż prawidłowości w niej zachodzące opisywane są przez teorię deterministyczną. Znajomość prawidłowości jednak nie sprawia, że niejako automatycznie przebieg

⁸ A. Lasota, *Wprowadzenie do dyskusji: matematyka a filozofia*, w: *Otwarta nauka i jej zwolennicy*, red. M. Heller, J. Urbaniec, Tarnów 1996, 58.

⁹ W powyższej sytuacji badanie empiryczne może napotykać na nieprzewidywalne trudności. A. Fuliński zwraca bowiem uwagę na następujący aspekt występowania zjawisk, opisywanych przez modele, w których pojawia się chaos deterministyczny. Otóż „lokalny bodziec może spowodować skutki 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”. A. Fuliński, *O chaosie i przypadku*, *Znak* 45(1993)5, 44.

zdarzenia jest przewidywalny. Charakter prawidłowości bowiem jest taki, że dopuszczają one zachodzenie niezwykle złożonych i skomplikowanych procesów. W takich sytuacjach praktycznie nie jest możliwe dokonanie jednoznacznych przewidywań. Zjawisko chaosu deterministycznego zdaje się wykluczać możliwość dokonywania ścisłych prognoz nawet wtedy, gdy będziemy dysponowali lepszą aparaturą pomiarową i szybszymi komputerami.

Rozważmy następane zjawisko: ruch większej drobin (to teraz będzie nasz kamień) w płynie. Obserwując pod mikroskopem ruch drobin, widzimy, że zmienia ona zupełnie przypadkowo kierunek swego ruchu. Można wytłumaczyć to zjawisko (zostało ono określone jako ruch Browna), przyjmując teorię atomowej budowy materii. Cząsteczki cieczy poruszają się, zderzając ze sobą. Te, które są w pobliżu naszej drobin, zderzają się również z nią, zmieniając jednocześnie kierunek i prędkość jej ruchu. Ponieważ mamy do czynienia z bardzo wieloma elementami, to do opisu konieczne staje się wykorzystanie uśrednionych parametrów i zastosowanie metod rachunku prawdopodobieństwa. Ruch drobin, choć wydaje się być chaotyczny, podlega jednak prawom statystycznym: mamy tu do czynienia z determinowaniem statystycznym.

O determinowaniu statystycznym można mówić wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z wieloma tego samego rodzaju elementami, których zachowanie jest przypadkowe (lub takie się nam wydaje), lecz całość podlega określonym prawidłowościom. Dzięki temu jesteśmy w stanie przewidywać ewolucję całości, choć nie potrafimy przewidzieć zachowania poszczególnych elementów. Rachunek prawdopodobieństwa ukazuje interesującą własność przyrody. Tzw. zjawiska masowe, w których nie jesteśmy w stanie przewidzieć zachowania poszczególnych elementów, przebiegają jednak w sposób podlegający pewnym prawom, zatem dający się określić.

Teorią fizyczną mającą charakter statystyczny jest termodynamika. Za jej pomocą opisujemy, na przykład, zachowanie się gazu w pojemniku. Tu „kamieniem” jest jedna z cząsteczek gazu. W tym przypadku nie jesteśmy w stanie przewidzieć, jaki będzie tor poszczególnej drobin gazu. Jest on bowiem wypadkową działania wielu innych cząstek. Chociaż układ jest układem mechanicznym, mimo to zachowanie jego poszczególnych elementów wydaje się być przypadkowe. Do całości gazu można jednak zastosować opis statystyczny. W tym opisie uwzględnia się wartości średnie

pewnych parametrów, które na podstawie praw dają się już wyznaczyć dokładnie¹⁰.

Z praw statystyki wynika z kolei, że w rzeczywistości wydarza się to, co jest bardzo prawdopodobne. Zdarzenia, których prawdopodobieństwo jest znikome, teoretycznie mogą zajść, ale praktycznie ich nie obserwujemy. Zarazem stany, które są bardzo prawdopodobne, cechują się wysokim stopniem nieuporządkowania. Te, które są mało prawdopodobne, są wyjątkowe, ale są jednocześnie uporządkowane. Wielkość prawdopodobieństwa zajścia danego stanu jest zatem swoistą miarą stopnia jego nieuporządkowania.

Obraz przyrody nie będzie pełny bez uwzględnienia w nim zjawisk kwantowych. Przypuśćmy, że naszym „kamieniem” jest teraz foton. Na jego drodze ustawiamy interferometr Macha-Zehnera, składający się z dwóch lusterek, dwóch płytek światłodzielących, które przepuszczają połowę światła, a połowę odbijają, i dwóch detektorów fotonów. Strumień fotonów pada na ustawioną do niego pod kątem 45° płytkę; część fotonów przejdzie przez nią, odbije się od lustra i padnie na drugą płytkę; pozostałe fotony odbiją się od pierwszej płytki, następnie od drugiego lustra i również padną na drugą płytkę, na której nałożą się na pierwszą wiązkę. Na skutek interferencji tych dwóch wiązek tylko jeden z dwóch detektorów, ustawionych za drugą płytką światłodzielącą, zarejestruje wpadające do niego fotony. Dzieje się tak nawet wtedy, gdy źródło fotonów jest tak słabe, że emituje po jednym fotonie w danej jednostce czasu. Wygląda to tak, jakby pojedynczy foton podróżował jednocześnie dwiema drogami, a następnie sam ze sobą interferował. Gdy jednak próbujemy sprawdzić, co dzieje się z fotonem po przejściu przez pierwszą płytkę światłodzielącą i ustawiamy detektory bezpośrednio za nią, okaże się, że za każdym razem, gdy foton pada na płytkę, albo cały przez nią przechodzi, albo cały jest odbijany. To zaś, czy foton przejdzie, czy się odbije, jest zupełnie przypadkowe.

¹⁰ „Pomysł wykorzystania metod statystycznych do opisu zachowania układów o wielu stopniach swobody wynikał z praktycznej niemożności poznania dokładnego stanu układu w jakiegokolwiek chwili, choć znajomość tego stanu byłaby konieczna dla obliczenia przyszłego zachowania stanu układu na podstawie praw mechaniki. Nas interesuje zachowanie gazu jako całości, opisywane nie przez dokładne położenia i prędkości wszystkich składników, lecz za pomocą zmiennych termodynamicznych – ciśnienia, objętości i temperatury”. R. G. Newton, *Zrozumieć przyrodę*, tłum. z ang. A. Górnicka, Warszawa 1996, 65.

Wydaje się, że foton, gdy nic nie próbuje śledzić którędy przechodzi, porusza się dwiema drogami naraz, natomiast gdy coś próbuje zbadać sposób jego zachowania na płycie, to wtedy foton wybiera w sposób przypadkowy, bez żadnej widocznej przyczyny tylko jedną z dwóch możliwych dróg. Zachowanie fotonu (sposób jego poruszania) zależy zatem w pewnym sensie od całości sytuacji. Foton jakby „wie”, czy coś śledzi jego ruch i swoje zachowanie „dostosowuje” do tej wiedzy. Ten i podobnego typu eksperymenty pokazują, że cząstek kwantowych nie można traktować tak samo jak dobrze określonych i zlokalizowanych grudek materii.

W mikroświecie obowiązuje zasada nieoznaczoności Heisenberga, z której między innymi wynika to, że nie jest możliwe jednoczesne wyznaczenie położenia i pędu cząstki¹¹. Oznacza to, że dla obiektu kwantowego traci sens pojęcie trajektorii. Toteż nie można określić „drogi” fotonu od źródła fotonów do detektora. Poza tym, wydaje się, że na poziomie mikroświata mamy do czynienia ze zdarzeniami przypadkowymi. Innymi niż przechodzenie przez płytkę światłodzielącą przykładami takich zdarzeń są przejście elektronu z jednej dozwolonej w atomie orbity na inną w określonym przedziale czasu oraz rozpadnięcie się danego atomu pierwiastka promieniotwórczego. Zachodzą one bez zadziałania żadnej widocznej, bezpośredniej przyczyny. Teoria pozwala tylko na przewidywanie prawdopodobieństw zajścia tych zdarzeń. Na przykład, w zjawisku rozpadu promieniotwórczego pierwiastków radioaktywnych wiemy, jaka ilość substancji ulegnie rozpadowi po określonym czasie, natomiast nie możemy określić, który konkretny atom ulegnie rozpadowi, czy w jakim czasie konkretny atom się rozpadnie.

Zdarzenia na poziomie mikroświata nie są jednak zdarzeniami, które działałyby się wbrew prawom fizyki czy poza nimi. W doświadczeniu z interferometrem Macha-Zehndera foton „ma do wyboru” tylko dwie drogi, nie może, na przykład, przejść lub odbić się

¹¹ Należy zwrócić uwagę, że kontrowersje związane z zasadą nieoznaczoności zależą w znacznej mierze od interpretacji mechaniki kwantowej. Na przykład, w indeterministycznej interpretacji kopenhaskiej akt pomiaru „stwarza” rzeczywistość mikroświata, tzn. mikrocząstka nie ma określonego pędu i położenia. Dopiero sytuacja pomiarowa, nasza decyzja, czy będziemy mierzyć położenie, czy pęd „nadaje” mikrocząstce określoną wartość danego parametru. Z kolei w interpretacji wszechświatów równoległych nie pojawia się problem indeterminizmu.

od płytki światłodzieliącej pod innym kątem niż dozwolony przez prawa optyki. Podobnie rozpad jąder pierwiastków promieniotwórczych oraz przejście elektronu z jednej orbity na drugą następują zgodnie z zasadami dotyczącymi zachowania energii.

Brak pełnego, jednoznacznego determinizmu na poziomie mikroświata nie oznacza zatem, że panuje w nim chaos, że brak tu jakichkolwiek prawidłowości. Warto podkreślić, że równanie Schrödingera, opisujące ewolucję funkcji falowej danego układu kwantowego, jest deterministyczne. Nie da się jedynie przewidzieć jednoznacznie wyników danego pomiaru. Można zatem mówić w tym przypadku o przyczynowości niejednoznacznej czy o przyczynowości statystycznej. Przypadek zostaje ujęty w ramy prawidłowości. Przypadkowość i podleganie prawom stanowią jakby dwa, ściśle ze sobą splecione, aspekty rzeczywistości kwantowej.

W sytuacjach makroskopowych również mamy do czynienia ze współdziałaniem przypadku i konieczności – zdarzeń przypadkowych ze zdarzeniami koniecznymi. Dzieje się tak na poziomie przyrody ożywionej. Zdarzenia przypadkowe odgrywały szczególną rolę zwłaszcza w trakcie powstania pierwszych żywych organizmów oraz w przebiegu ewolucji.

Analiza procesów, które doprowadziły do powstania żywych organizmów (w różnych teoriach abiogenezy), ukazuje to, że jednym z czynników decydujących o tym procesie był przypadek¹². Przypadek mógł działać na różnych etapach procesu ewolucji prebiotycznej: łączenie się prostszych molekuł w dłuższe łańcuchy, współzawodnictwo między układami, przypadkowe tworzenie się białek, kwasów nukleinowych, kompleksów białkowo-nukleinowych (hipercykl, protobiont itp.), powstanie genu, protokomórek. Działanie przypadku było jednak ograniczone poprzez względną stabilność wcześniej utworzonych struktur oraz przez wzajemne oddziaływanie zachodzące pomiędzy tymi strukturami.

W procesie ewolucji przypadkowe zdarzenia również odgrywały decydującą rolę. Można łatwo wskazać kilka takich momentów w przebiegu ewolucji, gdzie przypadek miał istotne znaczenie. Mutacje i rekombinacje, które stanowią źródło zmienności dziedzicz-

¹² Przypadek można w tym kontekście rozumieć dwojako. Bądź jako zdarzenie, którego przyczyny nie potrafimy podać, bądź jako zetknięcie się kilku niezależnych od siebie ciągów zdarzeń.

nej, są uważane za losowe. Przypadkowe wahania częstości genu mogły eliminować określony gen bądź zwiększyć częstość jego występowania. Losowe zmiany środowiska, z kolei, działają na adaptację. W procesie konkurencji przez przypadek może zwyciężyć jednostka niekoniecznie najbardziej optymalna przystosowawczo. W procesie adaptacji mogą przypadkowo utrwalić się cechy bez znaczenia przystosowawczego. Wszystkie te przypadkowe zdarzenia wpływają znacząco na kierunek procesu ewolucji.

Trzeba zarazem pamiętać, że przebieg ewolucji zależy nie tylko od zdarzeń przypadkowych, ale i od konieczności naturalnych. Podlega zatem prawom deterministycznym i probabilistycznym. Przypadek w tym sensie można uznawać za przyczynę¹³ zmian ewolucyjnych, jeżeli wiąże się go z koniecznościami naturalnymi. W takim ujęciu przypadek i konieczność można traktować jako pewną komplementarną całość¹⁴.

Z przytoczonych przykładów wyłania się niejednoznaczny obraz przyrody: w przyrodzie niewątpliwie istnieją prawidłowości, wyznaczające w niej przebieg zjawisk, zarazem zachodzą w niej również takie zjawiska, jakich przebiegu nie można przewidzieć.

Teorie opisujące makroskopowy poziom rzeczywistości są deterministyczne, ukazują zatem Wszechświat zdeterminowany. Mimo to pojawiają się tu istotne, wydaje się, niemożliwe do przewyżczenia, trudności z dokonywaniem przewidywań. Niedokładność pomiarów i trudności rachunkowe w sytuacjach, w których pojawia się chaos deterministyczny, sprawiają, że nasze prognozy nie są pewne. Inna trudność wynika ze statystycznego charakteru praw dotyczących dużych zbiorowości. Tu wprawdzie jesteśmy w stanie przewidzieć zachowanie całości (po uśrednieniu parametrów), lecz

¹³ K. Kłoskowski stwierdza, że sam przypadek ukazuje się wprawdzie jako zdarzenie bez przyczyny, ale mogące być przyczyną innych zdarzeń. K. Kłoskowski, *Zagadnienie determinizmu ewolucyjnego. Studium biofilozoficzne*, Gdańsk 1990, 159-161.

¹⁴ „(...) szczególnego znaczenia nabiera (...) czynnik przypadku odgrywający rolę inicjatora nowości, poszukującego nowych dróg dla ewolucji. To właśnie dzięki tak rozumianemu działaniu przypadku ewolucja «zachowuje» swój naturalny charakter. Z jednej strony przypadek uniemożliwia stagnację procesów ewolucyjnych, z drugiej natomiast strony przypadku nie można traktować jako jedyne go motoru ewolucji. Gdyby bowiem odwoływano się tylko do przypadku jako czynnika ewolucji, wówczas zmiany ewolucyjne prowadziłyby wprost do chaosu biologicznego. Ewolucja jest jednak procesem zmian kierunkowych, zależnym od określonych czynników i mechanizmów, w które «wkomponowane» jest działanie przypadku”. Tamże, 229.

teorie nie wykluczają możliwości wystąpienia zdarzeń bardzo mało prawdopodobnych, których w praktyce nie da się przewidzieć.

Problem determinizmu i przewidywalności komplikuje dodatkowo to, że na poziomie mikroświata zdają się zachodzić zdarzenia przypadkowe. Lecz również i w świecie kwantów nie wszystko jest dozwolone, nie panuje tu chaos. Prawa mechaniki kwantowej umożliwiają bowiem dokonywanie przewidywań. W rzeczywistości mikroświata obserwujemy to, co przewidywała teoria.

Nie można również zapominać o zdarzeniach, które w potocznym rozumieniu uważamy za zdarzenia przypadkowe. Są to pojedyncze (w przeciwieństwie do zdarzeń masowych) losowe zdarzenia. Ich zajście jest spowodowane zetknięciem się niezależnych od siebie ciągów przyczynowych, które z reguły są ściśle zdeterninowane. Przypadkowe spotkanie na ulicy, wypadek samochodowy są przykładami tego typu zdarzeń. Takie zdarzenia odgrywają ważną rolę nie tylko w naszym życiu, lecz również w przyrodzie, zwłaszcza ożywionej. Wydaje się bowiem, że struktury biologiczne powstały na skutek działania tego rodzaju przypadku. Nawet jednak te zdarzenia, które są przypadkowe w sensie bezwzględny (nie mają swej przyczyny w żadnym układzie odniesienia), podlegają prawom rachunku prawdopodobieństwa.

Zachodzenie zdarzeń przypadkowych nie oznacza zatem tego, że przyroda jest chaosem, nie przeczy też zasadzie przyczynowości. Wydaje się zatem uzasadnione w świetle przeprowadzonych analiz przyjęcie jakiejś formy determinizmu umiarkowanego. Natomiast determinizm mechanicystyczny nie jest możliwy do utrzymania.

SOME REMARKS ON DETERMINISM

Summary

The answer to the question if everything in the nature is determined is very important for understanding the physical world. In the article some examples of phenomena from different areas of the material world are analyzed. These analyses show that it is possible to hold the intermediate determinism.