

Max Urchs

Przyczynowość a chaotyczny charakter systemów

Filozofia Nauki 4/3, 95-102

1996

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.

Max Urchs

Przyczynowość a chaotyczny charakter systemów

1. Wstęp

Badając realne zjawiska i procesy, patrzymy na świat materialny niejako wybiórczo. Nie jesteśmy w stanie zwyczajnie pojąć całej złożoności otaczającej nas rzeczywistości, koncentrujemy więc naszą uwagę na niektórych tylko aspektach realnego świata. Wówczas na tle uniwersalnych, wzajemnych oddziaływań między zdarzeniami pojawiają się względnie izolowane obszary świata, w których rozpoznać możemy pewne struktury i prawidłowości.

Dzięki takiej abstrakcji realne systemy jawią się nam jako układy, których stan zmienia się według ściśle określonych reguł — tzn. jako regularne układy dynamiczne. Przy pomocy układów dynamicznych można opisać elementarne procesy neurofizjologiczne, ruch planet wokół słońca, dynamikę modeli kosmologicznych i komórki biologicznej. Badaczowi realnych systemów tradycyjnie towarzyszy szereg przekonań o tym, jak te układy się zachowują. Jednym z nich jest przekonanie, że proste systemy (jak wahadło lub wyidealizowana populacja ryb) zachowują się w prosty sposób. Z drugiej strony, złożone zachowanie się systemu (np. wszelkiego rodzaju turbulencje) wskazuje na złożoność przyczyn takiego zachowania, przy czym systemy z różnych dziedzin (mrowisko vs. przepływ powietrza koło skrzydła samolotu naddźwiękowego) zachowują się w różny sposób.

U podstaw takich poglądów leży nasze wielowiekowe przyzwyczajenie do myślenia kauzalnego, do wiary w uniwersalność zasady przyczynowości. Zgodnie ze słynnym fragmentem pochodzącym z *Badań* Hume'a, przyczynę rozumie się jako obiekt następujący po innym, przy czym po wszystkich obiektach podobnych do pierwszego następują obiekty podobne do drugiego. Podobieństwo jest więc niezmiennikiem przejść przyczynowo-skutkowych. Proponuję, by stwierdzenie tego fenomenu nazywać

„zasadą niezmienniczości podobieństwa”. Hume, chociaż zasady tej tak nie nazywał, traktował ją nie tylko jako opis ważnej cechy zależności przyczynowo-skutkowej, lecz wręcz jako alternatywną eksplikację związku kauzalnego. Wydaje się, że właśnie ta zasada jest jedną z najbardziej podstawowych supozycji dotyczących rzeczywistości fizycznej. Jest fundamentem wszelkich ludzkich strategii, zarówno planowania, uczenia się, jak i racjonalnego działania. Okazuje się jednak, że zasada ta zdaje się kolidować z centralnymi tezami tzw. teorii chaosu deterministycznego, badającej zjawisko deterministycznego — a zarazem nie dającego się pod pewnymi względami przewidzieć — zachowania niektórych systemów dynamicznych. Zjawisko to zostało wykryte — lub, powiedzmy ostrożnie: domniemuje się, że zachodzi — faktycznie wszędzie: od mikroświata, poprzez wszelkie możliwe formy ewolucji biologicznej, aż do ruchów na rynku akcji i do procesów kosmologicznych.

Teoria chaosu i analiza kauzalna odnoszą się do wspólnego obszaru rzeczywistości, tj. do regularnych procesów dynamicznych. Dla dużego zakresu zjawisk przyrodniczych i społecznych zdaje się więc istnieć związek pomiędzy przyczynowością a chaosem. Zależność ta staje się problematyczna, kiedy przedstawiciele teorii chaosu wysuwają tezę o tzw. załamaniu się przyczynowości w układach chaotycznych. Dlaczego?

Problem polega na tym, iż analiza kauzalna z jednej strony, a teoria chaosu deterministycznego z drugiej strony prowadzą do niezgodnych obrazów rzeczywistości. Co gorsza, obszar, na którym dochodzi do konfliktu, obejmuje centralne tereny badań empirycznych. Problemu nie da się więc zignorować.

Kwestionując zachodzenie związków przyczynowych w układach deterministycznych, tzw. dynamika nieliniowa dopuszcza się jawnej próby «puczu» przeciwko uniwersalności zasady przyczynowości, tzn. przeciwko tradycyjnemu światopoglądowi panującemu w naukach empirycznych.

Powstaje pytanie, czy teza o uniwersalności chaosu jest istotnie nie do pogodzenia z zasadą również uniwersalnego działania związków przyczynowych.

2. Chaos

Nie jest bynajmniej łatwo wytłumaczyć, co dokładnie rozumie się przez „chaotyczne zachowanie się systemu”.¹ Z jednej strony, istnieje kilka niewiele tłumaczących «definicji» (np. że chaos jest deterministycznym wytwarzaniem takiego zachowania, dla którego nie istnieje długoterminowa prognoza). Z drugiej natomiast strony wciąż trwa fundamentalna dyskusja wśród matematyków, która w pewnym sensie rozmija się jednak z naszym problemem: matematyczne pojęcie chaosu nie jest w stanie adekwat-

¹Mamy na myśli, rzecz jasna, termin *chaos* w nowoczesnym sensie tego słowa, po raz pierwszy użyty bodajże przez Maxwella, kiedy pisał o stanie «chaosu molekularnego». W literaturze dotyczącej tego, co dziś zwiemy „teorią chaosu”, pojęcie to pojawiło się po raz pierwszy w tytule pracy autorstwa Li i Yorke'a *Period Three Implies Chaos*.

nie opisać przyczynowych aspektów zagadnienia. W tej sytuacji proponuję następujący ramowy opis tego pojęcia.

- (a) Nawet bardzo proste systemy deterministyczne, o małej liczbie elementów, mogą wykazać autentycznie losowe zachowanie. Taką własność ma zdecydowana większość systemów deterministycznych, a nie — jak to sądzono do niedawna — znikoma mniejszość. Co więcej, losowość ta jest istotna w podwójnym sensie.
1. Pojawia się ona dla dużego zakresu stanów początkowych danego systemu, a nie dla kilku zaledwie osobliwych wartości warunków brzegowych.
 2. Zbierając więcej informacji o systemie i o warunkach brzegowych, nie doprowadzamy do zniknięcia tej przypadkowości — nie zależy ona od stanu naszej subiektywnej niewiedzy o systemie. Problem polega na tym, że potrzebowalibyśmy absolutnie precyzyjnych informacji o wartości stanów początkowych. Te zaś są nieosiągalne — ze względu na nieuniknione błędy pomiaru, i strukturę komputera, który przetwarza uzyskane dane, ze względu na zasadę nieoznaczoności itd.
- (b) Niemożliwa jest prognoza co do przyszłych stanów systemu po upływie pewnego czasu (por.: [4], s. 440).
- (c) Małe odchylenia stanu obserwowanego od stanu faktycznego systemu nie znikają w kolejnych stadiach danego procesu, ani nawet się nie stabilizują, lecz często rosną tak, że po przekroczeniu pewnej granicy czasu niemożliwe jest ustalenie przyszłego stanu systemu z jakąś rozsądną dokładnością. Systemy iterujące zwłaszcza charakteryzują się błędami «eksplodującymi w czasie». Wszelka informacja dotycząca systemu traci sens, jeśli błąd przekracza skalę sygnału. Prognoza pogody w stylu „Jutrzejsza temperatura wyniesie $18 \pm 24^\circ\text{C}$ ” jest oczywiście bez wartości.
- (d) Mamy do czynienia z systemami deterministycznymi, które są opisywane przez układy nieliniowych równań różniczkowych. Każdy stan początkowy wyznacza więc przyszłe stany systemu. Mimo tego nie wiemy, jaki przyszły stan systemu jest wyznaczany przez obserwowany stan początkowy. Spróbujemy zilustrować związany z tym faktem dyskomfort poznawczy za pomocą analogii. Niech stany początkowe prowadzące do tego samego stanu przyszłego tworzą klasę. Zgodnie z teorią chaosu zakłada się, iż takie klasy posiadają bardzo skomplikowaną i subtelną strukturę wewnętrzną. Tworzą one strukturę samopodobną — tzw. fraktal. Najśłynniejszym fraktalem jest zbiór Mandelbrota. Istnieją serie obrazów komputerowych przedstawiających jakiś fragment zbioru Mandelbrota, a następnie fragment tego fragmentu itd., w coraz to większym powiększeniu. Do kogoś, kto kiedyś doświadczył takiego «zanurzenia się» w zbiór Mandelbrota, przemówi być może następująca analogia. *Mierzeniu bardziej precyzyjnemu odpowiada powiększenie skali ujęcia zbioru Mandelbrota.* Jednak powiększając skalę, otrzymujemy za każdym razem ten sam «krajobraz» tej samopodobnej figury. W bliskim sąsiedztwie dowolnie wybranego punktu zawsze znajdzie się linia graniczna, za którą zachowa-

nie systemu dramatycznie się zmienia — żadne powiększenie, żaden bardziej precyzyjny pomiar nie prowadzi nas w «bezpieczne» rejony.

- (e) W wypadku systemów chaotycznych niemożność ustalenia przyszłego stanu systemu dotyczy względnie długich okresów — bliska przyszłość systemu może być zupełnie dobrze poznana. Tym się różnią systemy chaotyczne od systemów rzeczywistości losowych. Zasadnicza nieprognozowalność oznacza wystąpienie przypadku. Zatem pojęcia determinizmu i przypadku przestają być pojęciami przeciwstawnymi.
- (f) Systemy chaotyczne mogą być wrażliwe na minimalne zmiany warunków początkowych. Podobne przyczyny nie zawsze mają podobne skutki. Zasada niezmienniczości, podobieństwa zostaje naruszona. Co więcej, w danym procesie mogą się pojawić «nieprzewidziane», tj. losowe zdarzenia, które są spowodowane przez niezauważalne modyfikacje warunków brzegowych.

Rzecz jasna, punkt (e) jest dla nas specjalnie ciekawy. Jeśli interpretacja proponowana przez teorię chaosu jest poprawna, oraz jeśli zasada niezmienniczości jest charakterystyczna dla związku przyczynowego, to jesteśmy w kłopotcie. Przyjrzyjmy się temu bliżej.

3. Podobieństwo

Wyobraźmy sobie partię dartu (tj. gry, uprawianej przeważnie w angielskich pubach, polegającej na rzucaniu małymi strzałkami w tarczę). Trafienie strzałką w tarczę i skaleczenie strzałką barmana, są to dwa bardzo różne zdarzenia, mimo że trajektoria strzałki w obu hipotetycznych wypadkach niewiele się może różnić. Skutki tych podobnych do siebie rzutów nie są podobne. Czy da się to pogodzić z zasadą niezmienniczości Hume'a? Problemy tego typu były dyskutowane jeszcze zanim teoria chaosu stała się samodzielną dyscypliną naukową. Maxwell zastanawiał się nad przykładem zwrotniczego, który minimalnymi zmianami w położeniu gałek na swoim pulpicie powoduje katastrofę kolejową, bądź też doprowadza do tego, że katastrofy udaje się uniknąć (por.: [3], s. 13 i n.). Od początku było oczywiste, że analiza kauzalna powinna rozważyć takie fenomeny.

Jeśli na pierwszy rzut oka podobne sytuacje prowadzą do zupełnie różnych następstw, to wydaje się naturalnym pomysłem przypuszczenie, że coś ważnego zostało jednak przeoczone w analizie sytuacji. Po uwzględnieniu tych dodatkowych czynników powinno się okazać, że obie sytuacje nie są wcale do siebie podobne. Jest to znana propozycja Anscombe (por.: [1], s. 63). Co jednak począć, jeśli między analizowanymi sytuacjami nie ma istotnej różnicy? Jest na to mnóstwo przykładów. Wystarczy przypomnieć tak często przywoływanego w literaturze motyla z Amazonii, który powoduje tornado w Bostonie. Jak tu argumentować na rzecz poważnej różnicy między tą sytuacją i sytuacją, w której dosłownie wszystko na obu kontynentach amerykańskich zostaje tak jak było, tyle że pewien motyl w Brazylii zostaje w odpowiednim czasie złapany przez pająka?

Jedno z rozwiązań — to pogodzić się z tym, że jesteśmy w kłopotcie, i starać się zachować co się da z klasycznej koncepcji przyczynowości. Nazwijmy związek przyczynowy, który spełnia zasadę niezmienniczości — *podobne przyczyny i podobne skutki* — „mocnym związkiem przyczynowym”. Ta właśnie forma przyczynowości rzekomo nie zachodzi w układach chaotycznych. Ale pozostaje jeszcze inny związek: *te same przyczyny, i te same skutki*. Jest to forma przyczynowości — nazywana czasami „słabą przyczynowością” — która jest wystarczająca dla funkcjonowania demona Laplace’a. Słaba przyczynowość ma pewną wartość jako zasada metodologiczna — wyklucza ona występowanie zjawisk zasadniczo niewytłumaczalnych, cudów itp. Z punktu widzenia epistemicznego natomiast — jest one zupełnie jałowa. Skoro przesłanki zdania charakteryzującego demona nigdy nie są spełnione, przeto zdanie to jest prawdziwe z czysto logicznych własności implikacji: ma ono fałszywy poprzednik. Ale taka implikacja jest epistemicznie «pusta». Żadnych prognoz czy też wyjaśnień faktów realnych na niej opierać niepodobna. Jeśli ktoś jest zainteresowany, powiedzmy, teorią nauki, a nie tylko metafizyką formalną, to słaba przyczynowość nie posiada dla niego większej wartości.

Skoro ta droga wiedzy na manowce, to może uda się zdefiniować odpowiednio zmodyfikowane pojęcie podobieństwa? Jako pierwsza — przychodzi na myśl idea metrycznej lub geometrycznej zgodności cech. Zgodność tę należy rozumieć jako «podobieństwo rozmyte». Niestety, koncepcji takiej grozi błędne koło: obiekty są podobne, jeśli ich cechy mieszczą się w pewnym przedziale, a granica tego przedziału jest wyznaczona przez zanikanie podobieństwa. Ograniczenie się do zgodności cech istotnych niewiele pomoże; bo jak inaczej rozumieć to, że cechy dane są «istotne», jak w ten sposób, że mają one wpływ na zachodzenie tego podobieństwa — że są «sprawcze», «relevantne»? Pojęcie, które miałyby służyć za podstawę definicji związku przyczynowego nie powinno, rzecz jasna, zawierać terminów o wyraźnym zabarwieniu przyczynowym.

Być może sprawa jest o wiele prostsza. Być może nie ma „dobrej» definicji przyczynowości na podstawie podobieństwa. Zdarzenia są podobne do siebie, zawsze i tylko, gdy mają skutki należące do tej samej klasy zdarzeń; podobieństwo zdarzeń nie jest niczym więcej niż wywoływaniem tych samych skutków. Wtedy zasada niezmienniczości jest zwyczajną tautologią, a rzekome nieobowiązywanie zasady przyczynowości w układach chaotycznych jest nieporozumieniem. Dobrze znane jest stanowisko Hume’a, który twierdził, że nie ma czegoś takiego, jak obiektywna przyczynowość. A jeśli ktoś nalega, aby podać odpowiednią definicję, to można go zbić właśnie tym — obarczonym błędem *circulus in definiendo* — określeniem przyczynowości na podstawie podobieństwa, które można znaleźć w *Traktacie*. Żart Hume’a polegał na tym, że do dziś próbujemy nadać sens tej definicji — i z góry skazani jesteśmy na porażkę. Jakże często można spotkać zarzut popełnienia błędnego koła, postawiony autorowi, który odwołuje się do pojęcia *przyczyny* by wyjaśnić podobieństwo, po czym używa

pojęcia *podobieństwa* do definiowania przyczynowości. W takim razie dlaczego by nie porzucić tych — z góry skazanych na niepowodzenie — starań?

4. Zdarzenia

Jeśli ktoś uważa tę propozycję za zbyt radykalną, to niech pomyśli raz jeszcze o motyłu, który spowodował wicher na oddalonym kontynencie. Przypuśćmy, że jakaś specyficzna analiza kauzalna stwierdza, że nasz motyl jest prawdziwą przyczyną tego tornado na drugiej półkuli. Wtedy mamy do czynienia z czymś, co chciałbym nazwać „fizycznym błędem kategorialnym”. Zachowanie się pojedynczego motyla nigdy nie bywa przyczyną sztormu: zdarzenia te nie są kompatybilne.

Postaramy się wyjaśnić bliżej to poczucie nieprzystawalności zdarzenia stwierdzonego w zdaniu „Tornado niszczy Boston” i zdarzenia stwierdzonego w zdaniu „Nad Amazonką przelatuje motyl” jako rzekomej przyczyny poprzedniego. Ani zdrowy rozsądek, ani żadna z nauk empirycznych nie rozważa relacji tego typu. Meteorologia nie interesuje się pojedynczymi motylami, a zoologia lokalnych biotopów nie rozważa procesów atmosferycznych na odległych kontynentach. Obraz świata, który przedstawia globalne warunki meteorologiczne, jest zbyt «gruboziarnisty», by widać w nim było indywidualnego motyla.

Aby uzyskać większą precyzję, musimy dysponować odpowiednio zdefiniowanym pojęciem *zdarzenia*. Chciałbym oprzeć się w tej sprawie na koncepcji, którą wypracowałem w [8]. Istotnym punktem takiej definicji jest relatywizacja pojęcia *zdarzenia* do czegoś, co nazywałem *systemem epistemicznym*. Jest to dowolny system zbierający i wykorzystujący informacje.² System epistemiczny jest wyznaczony przez swoją bazę poznawczą, przez aparaturę inferencyjną (tj. «logikę») oraz przez specyficzne receptory, umożliwiające systemowi uzyskanie informacji z otoczenia. Każdy system wytwarza pewien obraz świata, w zależności od swoich możliwości poznawczych oraz od implementowanej aparatury logiczno-pojęciowej. Można powiedzieć nieco metaforycznie, że każdy system posiada inny «ekran», na którym pojawia się (za każdym razem inny) obraz rzeczywistości. Jest on określony przez wybór przedstawianego fragmentu rzeczywistości i przez dokonane przy tym filtracje (czyli abstrakcje).

Pojęcie *zdarzenia* (podobnie zresztą jak i pojęcia *stan rzeczy*, *fakt*, *obiekt* itp.) rozpada się na wiele innych pojęć, indeksowanych przez leżące u ich podstaw systemy epistemiczne: „być zdarzeniem” — to „być zdarzeniem względem rozważanego systemu epistemicznego” lub krócej „być zdarzeniem dla systemu”.

Niektóre zdarzenia (dla pewnego systemu) są powiązane, a niektóre z tych związków mogą mieć charakter przyczynowy (dla rozważanego systemu). Stwierdzenie „Przyczynowość jest uniwersalna” jest z pewnością fałszywe, gdyż przyczynowość

²Pojęcie to jest bardzo bliskie (choć ma zupełnie od nich niezależny rodowód) do znanych w kognitywistyce twórców IGUS — tzw. *Information Gathering and Utilizing System* (por. np.: [2], s. 232).

występuje tylko dla niektórych systemów epistemicznych. Zależy to od rodzaju filtracji związanych z danym systemem. Jeśli filtracje te są zbyt słabe, wtedy nie sposób wyizolować związków przyczynowych wśród zależności między procesami rejestrowanymi na ekranie. Jeśli natomiast filtracje są zbyt mocne, to w takim obrazie świata pozostają jedynie zależności funkcyjne pomiędzy abstrakcyjnymi obiektami. Nie ma już zdarzeń — ani tym bardziej związków przyczynowych. Przykładem systemu drugiego rodzaju są tu dowolne teorie matematyczne, oraz niektóre teorie fizyczne. Ilustracją pierwszej grupy systemów mogą być prymitywne formy czysto deskrypcyjnych podejść w naukach społecznych (niedojrzałe do opisu w języku zależności przyczynowych). Tylko wtedy, kiedy filtracje są «pomiędzy», tzn. nie są ani za mocne, ani za słabe, pojawiają się związki przyczynowe.

Nie trzeba chyba podkreślać, że na ekranach nie znajduje się nic, co nie miałyby swego źródła w rzeczywistości. W tym sensie przyczynowość jest projekcją czegoś realnego. Ważne jest wszak, że od rodzaju ekranu (tj. od systemu epistemicznego) zależy, czy przyczynowość pojawi się w obrazie świata, czy też nie.

5. Albo chaos — albo przyczynowość

Terminologia systemu epistemicznego pozwala wygodnie mówić o niektórych ciekawych kwestiach związanych z przyczynowością: dlaczego łańcuchy przyczynowo-skutkowe mogą się łamać, kiedy mogą one powstać, i jak mogą wygasać. W tej terminologii można formułować kwestie dotyczące realności przeszłości i przyszłości. Można na nowo zinterpretować fascynujące idee zawarte w pracach Łukasiewicza i wczesnego Kotarbińskiego.

Powróćmy jednak do relacji między przyczynowością i chaosem deterministycznym. Ostateczna definicja chaosu opiera się na solidnych (i trudnych) teoriach matematycznych. System dynamiczny jest scharakteryzowany poprzez odpowiednie matematyczne modelowanie w przestrzeni fazowej. Chaotyczne zachowanie ustala się na podstawie matematycznych cech pewnego układu nieliniowych równań różniczkowych, które charakteryzują tzw. osobliwy atraktor rozważanego systemu. Wydaje się, że bez względu na matematyczne detale tego opisu — jedna rzecz jest oczywista: można mówić o zachowaniu chaotycznym układu dynamicznego wyłącznie po odpowiedniej obróbce matematycznej tego systemu.

Twierdzenie, że jakiś realny system zachowuje się chaotycznie, presuponuje więc opis tego systemu na względnie wysokim poziomie abstrakcji. Dopiero na odpowiednio wysokim poziomie abstrakcji pojawi się chaos — przyczynowość natomiast na takim poziomie już wygasła. Można mieć na ekranie (lub, jak kto woli, w obrazie świata) chaos deterministyczny, albo związki przyczynowe, lecz nie obydwaj na raz. W ten sposób nasz problem znika. Nie ma czegoś takiego jak przyczynowość chaotyczna ani chaos przyczynowy.

Bibliografia

- [1] G.E.M. Anscombe: „Causality and Determinism” (1971); [w:] E. Sosa (red.), *Causation and Conditionals*, Oxford 1975.
- [2] M. Gell-Mann: *Das Quark und der Jaguar. Vom Einfachen zum Komplexen — die Suche nach einer neuen Erklärung der Welt*, München 1994.
- [3] J.C. Maxwell: *Matter and Motion* (1877), New York 1920.
- [4] J.C. Maxwell: „Science and Free Will”; [w:] L. Campbell, W. Garnett (red.), *Life of James Clerk Maxwell*, New York 1969.
- [5] I. Prigogine i I. Stengers: *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue With Nature*, Toronto — New York 1984.
- [6] H. Rott: „Chaos. The Reason for Structural Causation”, [w:] J. Faye, U. Scheffler, M. Urchs (red.), *Logic and Causal Reasoning*, Berlin 1994.
- [7] W. Stelzner: *Epistemische Logik — Zur logischen Analyse von Akzeptationsformen* Berlin 1984.
- [8] M.P. Urchs: „Causal Priority. Towards a Logic of Event Causation”, [w:] G. Meggle and U. Wessels (red.) *Analyomen 1. Proceedings of the 1st Conference „Perspectives in Analytical Philosophy”*, Berlin — New York 1994.