

Modele: pułapki, ograniczenia, wyzwania

# Między empirią a teorią



**KAZIMIERZ SOBCZYK**

Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa

Polska Akademia Nauk

Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki

Uniwersytet Warszawski

ksobcz@ippt.gov.pl

Prof. dr hab. Kazimierz Sobczyk, członek rzeczywisty PAN,

jest specjalistą w zakresie mechaniki stochastycznej

i matematyki stosowanej

**Praca badawcza cieszy się w społeczeństwach dość dużym szacunkiem. Wydaje się jednak, że zwykli ludzie niewiele wiedzą o jej naturze i metodach, a zwłaszcza o pułapkach i trudnościach w budowaniu w pełni zadowalających modeli i teorii**

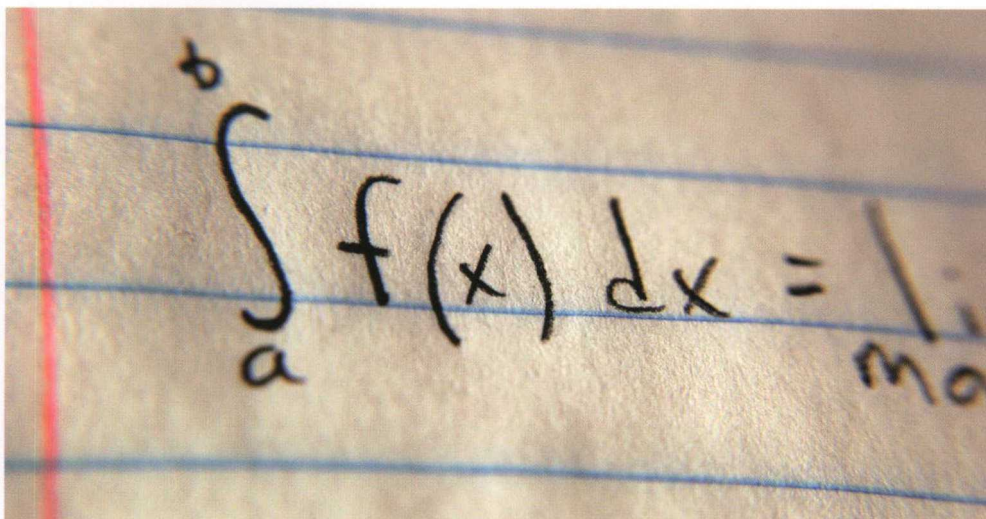
Jedną z najbardziej atrakcyjnych cech działalności badawczej jest dla uczonego odczucie wielkiej osobistej wolności w podejmowaniu wyzwań i towarzysząca mu świadomość wpływania na wzbogacanie istniejącej wiedzy o zjawiskach otaczającej nas rzeczywistości. Ważnym czynnikiem jest też chęć zauważenia i zrozumienia czegoś (zjawisk, procesów itp.), czego nikt jeszcze nie zauważył lub nie

był w stanie wyjaśnić. Jest to jednak niełatwy rodzaj ludzkiej aktywności. Spektakularne odkrycia będące wynikiem krótkiego przebłyску twórczej wyobraźni zdarzają się bardzo rzadko; zwykle rezultaty badawcze przychodzą wolno i wymagają długiego okresu wyczerpanej koncentracji. Potrzebna jest też odwaga i szczególny rodzaj wyczulenia, aby właściwie rozpoznawać i podejmować problemy naprawdę ważne i jednocześnie będące w kompetencji badacza.

Oczywiście nie wszystkie istniejące dziedziny nauki mają taki sam paradygmat uprawiania badań; na przykład fizyka czy mechanika dysponują wysoce zintegrowanym, ścisłym i systematycznym sposobem wyjaśniania zjawisk, natomiast w dziedzinie nauk społecznych i w różnych działach nauk przyrodniczych takie ścisłe i logiczne podejście pozostaje ciągle ideałem. Niezależnie jednak od tych różnic wspólną cechą badań naukowych jest poszukiwanie wyjaśnień mechanizmów i związków przyczynowych między elementami struktury badanych zjawisk przy świadomym i logicznym kontrolowaniu hipotez i osiągniętych rezultatów poprzez ich konfrontację z danymi empirycznymi.

Nowożytna nauka dzięki swym wielkim osiągnięciom pokazała, że metodologiczna droga bazująca na budowaniu ścisłych modeli

Zanim skonstruujemy matematyczny model zjawiska realnego, warto się zastanowić, co rozumiemy przez stwierdzenie, że pewien układ symboli i relacji matematycznych jest reprezentacją zjawiska rzeczywistego



www.sxc.hu



zjawisk prowadzi do wielkich sukcesów w naszym rozpoznawaniu świata. Jest to jednak droga pełna ograniczeń, zakrętów i pułapek, na której badacze – jak kierowcy samochodów – stoją w zatorach, popełniają błędy, omijają miejsca trudne itp.

### Dane empiryczne i ich interpretacje

Gdy badacz chce uzyskać wgląd w rzeczywistą naturę interesującego go zjawiska, pragnie nade wszystko dotrzeć do pierwszych, często najbardziej elementarnych, informacji o obiekcie jego zainteresowań. Tym podstawowym źródłem informacji są wyniki obserwacji i eksperymentów – dane empiryczne. Wydobicie całej informacji z danych to niełatwe, lecz ważne zadanie na drodze rozpoznawania zjawiska realnego; czyha tu na badacza wiele pułapek, bo dane empiryczne są na ogół niekompletne, otrzymane w różnych warunkach i w różnych laboratoriach, obarczone błędem (losowym), a poza tym nie wiadomo, czy zostały otrzymane i opublikowane rzetelnie. Nierzetelność zdarza się nawet najlepszym uczonym. Dobrze znany jest przypadek amerykańskiego fizyka Roberta Millikana, który w 1923 roku otrzymał Nagrodę Nobla za zmierzenie po raz pierwszy ładunku elektrycznego elektronu. Aby uczynić swoje wyniki pomiarów bardziej przekonującymi, Millikan używał tylko tych z nich, które uważał za „najlepsze”, i nie miał ochoty ujawnić, które wyniki pominał i dlaczego (por. „On being a Scientist” – Report of the Committee on the Conduct of Science, Nat. Acad. Sci. USA, Washington, D.C., 1989). Zdarza się też, że badacz publikuje „eleganckie” wyniki eksperymentu, których nikt poza nim nie jest w stanie otrzymać. Wspomnieć też trzeba o takich sposobach traktowania danych, jak: przycinanie – tj. zmiana wartości tych wyników, które wyraźnie odbiegają od średniej; podrabianie – czyli dopisywanie wyników nigdy nieotrzymanych. Ważny jest też, dobrze znany statystykom, problem obserwacji, czy też wyników odstających, tj. takich, które są wyraźnie skrajne i w widoczny sposób niezgodne z innymi.

Wydaje się jednak, że najczęściej spotykanym „przestępstwem” czy błędem metodycznym spotykanym w publikacjach i w referatach na konferencjach naukowych jest formułowanie ogólnych stwierdzeń dotyczących badanego zjawiska na podstawie wyników pojedynczych doświadczeń. Wiąże się



Dane empiryczne są na ogół niekompletne, otrzymane w różnych warunkach i w różnych laboratoriach

to z szerszym i głębszym problemem, który Karl R. Popper (jeden z najwybitniejszych filozofów nauki) nazywa problemem indukcji. Popper pisze: „Zwykle wnioskowaniem indukcyjnym nazywa się takie wnioskowanie, które prowadzi od zdań jednostkowych (nazywanych niekiedy zdaniami »szczegółowymi«), takich jak sprawozdania z wyników obserwacji lub eksperymentów, do zdań uniwersalnych, takich jak hipotezy lub teorie. Otóż z logicznego punktu widzenia wcale nie jest oczywiste, czy uprawnione jest wnioskowanie prowadzące od zdań jednostkowych, niezależnie od ich liczby, do zdań uniwersalnych; każdy wniosek, do którego dojdzie się na tej drodze, zawsze może się okazać fałszywy: bez względu na to, w ilu wypadkach zaobserwowaliśmy białe łabędzie, wniosek, że wszystkie łabędzie są białe, zostanie nieprawomocny”.

### Od empirii do teorii

Nowożytna nauka w czasie swego ponadtrzystuletniego istnienia (bo datę publikacji „Pryncypiów” I. Newtona – 1686 r. – można uznać za jej początek) ukazała olbrzymią, a nawet zdumiewającą rolę matematyki w badaniach otaczającej nas rzeczywistości. Takie przełomowe osiągnięcia, jak mechanika Newtona, teoria elektromagnetyzmu Maxwella czy teoria względności Einsteina, były możliwe tylko dzięki sile i uniwersalności języka matematyki. Nic więc dziwnego, że podstawowy wzorzec dzisiejszych badań naukowych to budowanie modeli matema-



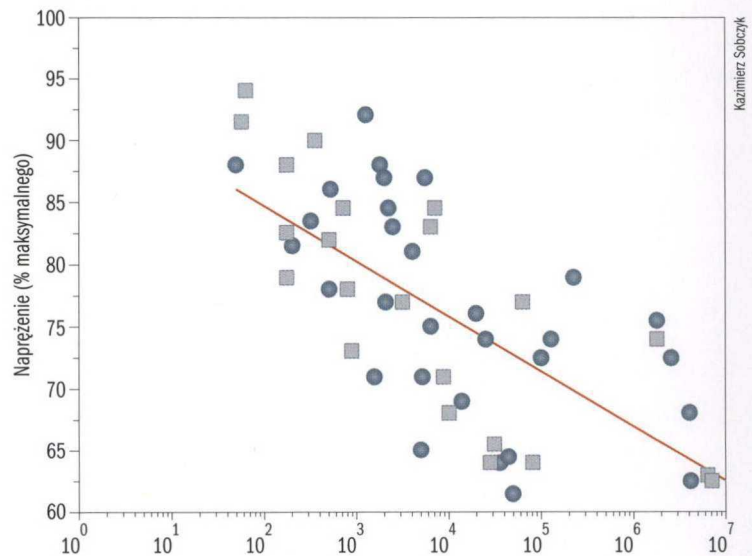
## Modele: pułapki, ograniczenia, wyzwania

tycznych zjawisk realnych. Takie podejście, ogarniające dziś nie tylko nauki ścisłe (np. fizyka, nauki techniczne), lecz także nauki społeczne i biologiczne, stawia przed badaczem wiele trudności i pytań natury metodologicznej. Pokonanie tych trudności w całkowicie zadowalający sposób na ogół nie jest możliwe; sukces jest najczęściej okupiony założeniami, uproszczeniami i przybliżeniami (często trudno weryfikowalnymi!). Jak daleko jesteśmy więc od prawdy czy od ewidentnego błędu?

Ogólne problemy związane z matematycznym modelowaniem realnych zjawisk i z wzajemną relacją między rzeczywistością (empirią) a teorią są przedmiotem metodologii nauk empirycznych, a także filozofii nauki. Te bardzo interesujące dziedziny nie są celem tej narracji. Chcę jedynie wspomnieć o pewnych najbardziej elementarnych pytaniach metodologicznych, które w naturalny sposób przychodzą na myśl, gdy zamierzamy konstruować matematyczny model zjawiska realnego na podstawie informacji empirycznych.

- Co rozumiemy przez stwierdzenie, że pewien układ symboli i relacji matematycznych jest reprezentacją zjawiska rzeczywistego?
- Dane empiryczne (i wszystkie nasze informacje aprioryczne) dotyczące zjawiska są zwykle niepełne; czy powinniśmy wobec tego wymagać, aby jego model matematyczny był w pełni adekwatny (do zjawiska)?
- Kiedy uprawnieni jesteśmy do stwierdzenia, że wnioski logiczne wyprowadzone z modelu są prawdziwymi twierdzeniami o rzeczywistości?

Abstrakcyjne lub matematyczne modele zjawisk realnych najczęściej charakteryzują tę zjawiska w sposób uproszczony; stopień tego uproszczenia zależy od szczegółowego celu modelowania i – zwykle – od naszej „empirycznej” wiedzy o rozważanym zjawisku. Na przykład, jeśli w opisie ruchu ciał niebieskich ograniczymy się (dla uproszczenia) tylko do Słońca i jednej planety, to model – równania Newtona – daje się rozwiązać i otrzymujemy wniosek, że planeta będzie krążyć po orbicie zgodnie z obserwacjami astronomicznymi Keplera (był to wielki triumf mechaniki newtonowskiej). Jeśli zaś równania Newtona (model) chcielibyśmy zastosować przy założeniu, że wokół Słońca mamy więcej planet (np. trzy, cztery i więcej), które oddziałują na siebie, to ów układ równań różniczkowych Newtona



staje się zbyt skomplikowany i trudny do rozwiązania. Pojawia się więc różnica między tym, co z modelu chcielibyśmy otrzymać, a tym, co efektywnie możemy z niego wydobyć.

Pojęcie modelu matematycznego nie jest jednoznaczne w literaturze, a poza tym może być definiowane przy użyciu różnego rodzaju formalizacji. Dla potrzeb nauk stosowanych możemy przyjąć, że model to matematyczna, niesprzeczna reprezentacja zjawiska odzwierciedlająca jego strukturę i najbardziej istotne cechy.

Istotną sprawą jest potwierdzenie (lub falsyfikacja) modelu przez porównanie z danymi empirycznymi. Szczególnie dla praktyków zgodność z danymi empirycznymi wydaje się wyrocznią najwyższą, ostatecznym potwierdzeniem modelu. Oczywiście nie ma wątpliwości, że owa zgodność z empirią musi odgrywać zasadniczą rolę w budowaniu teorii dowolnego zjawiska rzeczywistego; jednakże należy też pamiętać o tym, iż wzajemna relacja między eksperymentem a teorią jest złożona. Zdarza się bowiem, że zarówno teoria, jak i wyniki empiryczne otrzymane zostały bez należytego rygoru i dokładności, wobec czego popełnione błędy mogą się kompensować. Historia dostarczyła wiele przykładów, kiedy eksperymentatorzy otrzymali pożądane wyniki w sytuacjach dalekich od oczywistości. Już w roku 1871 James Clerk Maxwell pisał, że jeśli ktoś zabiera się do testowania modelu dotyczącego świata realnego, nie powinien się spieszyć do laboratorium, ale raczej powinien jeszcze przez jakiś czas kontynuować pracę teoretyczną, gdyż: „weryfikacja teorii jest uza-

**Liczba cykli (czas do zniszczenia zmęczeniowego w relacji do naprężenia generowanego w elemencie konstrukcyjnym; obserwujemy bardzo znaczący rozrzut (losowy) wyników eksperymentu (Murdock, Kesler, 1958)**



leżniona od teoretycznych warunków, przy których pewne wielkości mogą być mierzone najdokładniej; następnie należy eksperymentalnie zrealizować te warunki i dokonać odpowiednich pomiarów”. Zagadnienia, o których tutaj mówimy, leżą też w kręgu zainteresowań cytowanego już wcześniej Karla Poppera. W jego najważniejszym dziele czytamy: „Tak więc empiryczna baza nauki obiektywnej nie kryje nic »absolutnego«. Nauka nie spoczywa na niewzruszonych podstawach. Przypomina gmach wzniesiony na palach osadzonych w grzędawisku, lecz nie sięgających żadnej naturalnej ani »danej« podstawy. Wbijanie pali przerywamy wcale nie dlatego, że osiągnęliśmy stały grunt. Przerywamy po prostu wtedy, gdy uznamy, że zostały umocowane wystarczająco mocno, aby przynajmniej tymczasowo udźwignąć strukturę”.

A zatem nie ma niewzruszonych teorii naukowych, które byłyby prawdziwie uniwersalne – w każdym miejscu i każdym czasie. Istnieją bowiem w przyrodzie i w życiu ludzkim takie zjawiska i procesy, które nie poddają się „klasycznym” poglądom o trwałych i niezmiennych prawach przyrody. W odróżnieniu od tradycyjnych poglądów, w myśl których układy i struktury świata realnego można było wyobrażać sobie i modelować jako „maszyny” podlegające prawom dynamiki Newtona, dzisiaj spostrzegamy je jako byty o wiele bardziej skomplikowane. Mam tu na myśli tzw. układy złożone (ang. *complex systems*), w których występują nieregularności trudne do reprodukcji. Wyobraźmy sobie na przykład: zmiany pogody, ruch uliczny, rozprzestrzenianie się pożaru czy epidemii, procesy w układach biologicznych i społecznych itp.

### Sir James Lighthill przeprasza

Okazało się, że układy dynamiczne nieliniowe (tj. modelowane matematycznie przez nieliniowe równania różniczkowe), mimo iż są całkowicie deterministyczne i mogą być proste w swej strukturze (w tym układy mechaniki Newtona), nie mogą określić przyszłości dokładnie; po stosunkowo krótkim czasie musimy odwołać się do probabilistycznego opisu przyszłości!

Przytoczę tutaj słowa profesora sir Jamesa Lighthilla, byłego prezydenta Międzynarodowej Unii Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej (zajmującego w latach 80. XX wieku tę samą katedrę w Uniwersytecie w Cambridge co

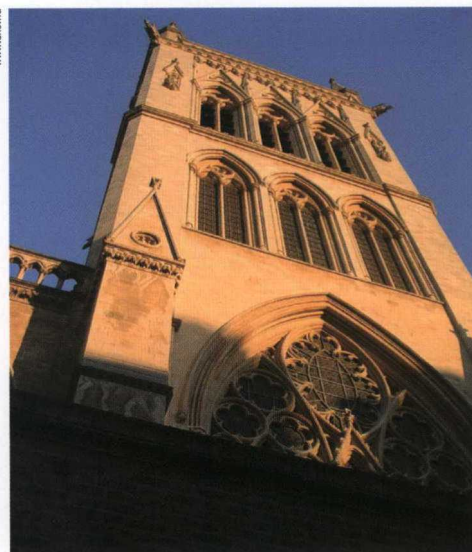
Newton trzysta lat wcześniej), wypowiedziane w dniu 8 kwietnia 1986 roku w jego wykładzie na uroczystej sesji poświęconej 300. rocznicy wydania fundamentalnego dzieła Newtona „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”. Słowa te cytuję tutaj wyjątkowo w oryginale (aby w niczym nie zaburzyć pięknej wypowiedzi Autora): „Here I have to pause, and speak once again on behalf of the broad global fraternity of practitioners in mechanics. We are deeply conscious today that the enthusiasm of our forebears for the marvelous achievements of Newtonian mechanics led them to make generalizations in this area of predictability which, indeed, we may have generally tended to believe before 1960, but which we now recognize were false. We collectively wish to apologize for having misled the general educated public by spreading ideas about the determinism of systems satisfying Newton’s laws of motion that, after 1960, were to be proved incorrect”.

A zatem silna wiara w moc mechaniki (dynamiki) Newtona i generowany przez nią poznawczy determinizm załamały się. Mam nadzieję, że Czytelnik zauważy związek między cytowanymi tutaj słowami dwóch wielkich uczonych: Karla Poppera i Jamesa Lighthilla. ■

#### Chcesz wiedzieć więcej?

- Popper K.R. (2002). *Logika odkrycia naukowego*. Warszawa: Fund. Aletheia.  
 Sobczyk K., Spencer B.F. (1992). *Random Fatigue: From Data to Theory*. Boston: Academic Press.  
 Sobczyk K. (2006). Losowość, złożoność, prognozowalność: próby zrozumienia. *Nauka*, 2, 45-64.

www.sic.hu



**Wszyscy wspólnie chcemy przeprosić za wprowadzenie w błąd całej społeczności ludzi wykształconych poprzez rozpowszechnienie idei o determinizmie układów spełniających prawa Newtona, które to idee po roku 1960 okazały się niepoprawne.**  
 Sir James Lighthill,  
 Cambridge