

P R Z E D M O W A

Matematyczne zasady

Sir Isaaca Newtona

Tytuł dzieła Newtona *Philosophiae naturalis principia mathematica* oddziela od siebie epoki, ale nie w sensie popularnego stereotypu, jakoby wszystko, co było przed Newtonem, stanowiło co najwyżej przygotowanie do prawdziwej nauki, która rozpoczęła swój triumfalny pochód dopiero poczynawszy od dzieła Wielkiego Anglika. Tytuł *Matematyczne zasady filozofii przyrody* zawiera w sobie jakby w pigułce skrót tych wszystkich procesów myślowych, które dokonały się przy przejściu od nauki średnio-wiecznej do nauki czasów nowożytnych i których Newton był przełomowym, ale jednym z wielu, bohaterem. Jego dzieło jest jeszcze *filozofią przyrody*, ale już rządzi się *zasadami matematycznymi*. W słowie „zasady” także mieści się kawałek historii. Panuje zgoda wśród historyków nauki, że wyraz ten zapowiada ukrytą polemikę z dziełem Kartezjusza zatytułowanym *Zasady filozofii*. Naczelną zasadą Kartezjusza było, że jeżeli coś narzuca się umysłowi „jasno i wyraźnie”, musi być prawdziwe. Jakkolwiek życzliwie interpretowalibyśmy tę zasadę, nie da się z niej usunąć elementów subiektywnej intuicji. Zasady Newtona efekt ten minimalizują, a czynią to dzięki temu, że są matematyczne i empiryczne (swoją system Newton często nazywał „filozofią empiryczną”). We wstępie do pierwszego wydania pisał on: „Zatem przedstawiamy tę książkę jako matematyczne zasady filozofii. Bowiem wydaje się, że całe zadanie filozofii przyrody polega na wyznaczeniu sił z zaobserwowanych ruchów, a następnie – mając już te siły – na przewidzeniu dalszych zjawisk”. Filozofowie nauki dopiero znacznie później skodyfikują reguły naukowej metody, Newton po prostu wie, jak doszedł do swoich wyników, a właśnie jego wyniki bardziej niż cokolwiek innego przyczyniły się do ukonstytuowania metody. „Wyznaczanie sił”, czyli formułowanie wyjściowych hipotez, winno opierać się na obserwacji (doświadczeniu) i obserwacja powinna też weryfikować przewidywania, ale droga od wyjściowych hipotez do empirycznych przewidywań musi zostać pokonana metodą matematycznej dedukcji. W tym sensie zasady Newtona są matematyczne.

A więc jaką epokę oddziela dzieło Newtona od okresu nowożytnej nauki? Metoda matematyczna wolno przebijała się przez grube warstwy tradycyjnego myślenia. *Calculatores* w średniowieczu, a później Mikołaj z Oresme i Mikołaj z Kuzy już do metody matematycznej sięgali i dzięki niej uzyskiwali pierwsze, jeszcze nieśmiałe wyniki. Niccolo Tartaglia i Giambattista Benedetti przygotowali drogę Galileuszowi. Ale warstwy tradycyjnego myślenia były rzeczywiście grube, o czym wymownie świadczą burzliwe dzieje Galileusza i jego procesu. Sam

Newton obficie czerpał z prac Keplera. Jedno z bardziej spektakularnych osiągnięć Newtona polegało na tym, że prawa ruchu planet obserwacyjnie ustalone przez Keplera wyprowadził on ze swojej teorii powszechnego ciężenia.

W przedmowie do drugiego wydania *Principiów* Roger Cotes, który to wydanie przygotowywał do druku, jasno wyraził przekonanie, że tradycyjna, Arystotelesowska fizyka nie ma szans w porównaniu z dziełem Newtona. Nawet nie szukał przeciw niej argumentów. Skwitował ją po prostu stwierdzeniem, że „zwolennicy Arystotelesa i perypatetycy” utrzymują, iż własności ciał są następstwem ich natury, ale „skąd się wywodzą natury rzeczy, tego nie mówią, a więc nie mówią nam niczego”¹. W gruncie rzeczy ich zabiegi sprowadzają się do nadawania rzeczom nazw, a potem poszukiwania związków pomiędzy tymi nazwami. Ten rodzaj uprawiania filozofii przyrody nie jest więc konkurencją wobec tego, co proponuje Sir Isaac Newton. Niebezpieczną konkurencję stanowią zwolennicy filozofii Kartezjusza, którzy twierdzą, że „niebiosa są wypełnione niezwykle subtelną materią, nieustannie płynącą wirami”² i całą strukturę świata da się wyjaśnić mechaniką tych wirów oraz bezpośrednimi zderzeniami cząstek subtelnej materii. Cotes wyraźnie widzi, że miejsce matematycznego rozumowania stosowanego przez Newtona zajmuje tu gra wyobraźni. Gdy zwolennicy Kartezjusza w swoich spekulacjach przechodzą od wyjściowych założeń do wniosków, choćby nawet starali się to robić z największą dokładnością, uprawiają tylko „wzniosłą poezję (*ingenious romance*) i poezją to tylko pozostanie”³. A konkurencyjność w stosunku do metody Newtona sprowadza się do tego, że dla wielu ludzi poezja jest bardziej pociągająca niż matematyczne rachunki.

Na czym więc polega wartość dzieła Newtona? Według Cotesa na tym, że stworzył on „filozofię eksperymentalną”: „wyprowadza ona przyczyny wszystkich rzeczy z możliwie najprostszych zasad, ale nie przyjmuje za zasadę niczego, co by się nie dało dowieść za pomocą zjawisk”⁴. Przez zjawiska (*fenomena*) Cotes rozumie wszystko to, co daje się stwierdzić doświadczeniem, ale ponieważ doświadczenie niczego nie dowodzi „ostatecznie”, dlatego w filozofii eksperymentalnej „nie przyjmuje się niczego, czego prawdziwość nie mogłaby być zakwestionowana”⁵. Po trzech wiekach Karl Popper z tego spostrzeżenia uczyni naczelną zasadę metody empirycznej, ale – jak widzimy – jej świadomość była obecna od początku.

Cotes dobrze podpatrzył metodę postępowania Newtona. Najpierw drogą analizy należy „z pewnych wybranych zjawisk wydedukować siły przyrody i proste prawa tych sił; a następnie, drogą syntezy, pokazać konstrukcję całej reszty”⁶. Najbardziej spektakularnym owocem tej metody był „system świata” (czyli nasz układ planetarny) „najkunsztowniej wyprowadzony z teorii grawitacji”⁷.

¹ Mój przekład z wydania: *Principia...*, vol. I, angielski przekład: A. Motte, red. F. Cajori, University of California Press, Berkeley – Los Angeles – London 1962, s. XX.

² *Ibidem*, s. XXVIII.

³ *Ibidem*, s. XX.

⁴ *Ibidem*.

⁵ *Ibidem*.

⁶ *Ibidem*, s. XXI.

⁷ *Ibidem*.

Jak przy tym wszystkim uniknąć Kartezjańskiej „gry wyobraźni”, która do tej misternej konstrukcji mogłaby wprowadzić dowolne elementy? Cotes w swojej przedmowie udziela na to pytanie odpowiedzi tylko *implicite*, dokonując przeglądu treści *Principiów* i ukazując jej niezwykłą logiczną zwartość. Wystarczy nawet dość pobieżne przejrzenie tego dzieła, by zorientować się, że tym, co minimalizuje luzy rozumowań, przez które mogłyby się wcisnąć niekontrolowane elementy wyobraźni, jest właśnie dedukcja matematyczna. Pracuje ona na obydwu wyróżnionych przez Cotesa poziomach: najpierw na poziomie „analizy ze zjawisk”, czyli na poziomie formułowania najogólniejszych praw, i potem na poziomie wyprowadzania z tych praw szczegółów struktury świata (Cotes nazywa to poziomem syntezy). Dziś, po okresie dynamicznego rozwoju filozofii nauki, wiemy, że „na poziomie analizy” przemożnie działa twórcza intuicja, ale jest ona zawsze wsparta dokładnym rozeznaniem „stanu zagadnienia”, w skład którego wchodzi wiedza o danych doświadczalnych dotyczących danej dziedziny, znajomość przynajmniej bezpośredniej historii problemu, orientacja w propozycjach innych autorów. Intuicja nie może być zawieszona w próżni – musi mieć pożywkę, z której czerpie żywotne soki. Co więcej, nie jest to intuicja, która całkiem dowolnie „buja w obłokach”. Działa ona niejako na tle myślenia matematycznego. Nie znaczy to, że od samego początku musi być włożona w jakieś równania. Nie! Pracuje ona swobodnie, ale struktury matematyczne są w niej jakoś domyślnie obecne. Na tym etapie nie narzucają myśleniu żadnych rygorów, ale myślenie od początku jest skierowane ku temu, by jego wynik ostatecznie zamknął się w jakimś równaniu (lub ogólniej – w jakiejś matematycznej strukturze). I dopiero gdy to nastąpi, matematyka zaczyna wymuszać swoje rygory. Ale wówczas wchodzimy już w ten etap, który Cotes nazywa syntezą, czyli w etap rekonstrukcji struktury świata. Tutaj króluje matematyczna maestria. W przypadku Newtona tym większa, że to właśnie on przecierał szlaki. Rachunek różniczkowy i całkowity, który do dziś stanowi podstawę matematycznego modelowania świata, jest jego dziełem. Większość wyników przedstawionych w *Principiach* Newton uzyskał dzięki temu narzędziu. Jeżeli tego bezpośrednio nie widać, to tylko dlatego, że Newton konsekwentnie tłumaczył swoje wyniki na język geometryczny. Czy czynił to tylko w trosce o czytelników (bo język geometryczny był bardziej zrozumiały dla współczesnych)? Czy po prostu ulegał tradycji, która w geometrii widziała ideał ścisłości?

Doświadczalny aspekt Newtonowskiej metody mieści się nie tylko w tekście *Principiów*, lecz również – szczególnie widocznie – w licznych tabelach rozsianych po całym dziele. W tabelach tych Newton zestawia wyniki pomiarów różnych wielkości zarówno mechanicznych, jak i astronomicznych. Wiele doświadczeń, niekiedy bardzo przemyślnie zaprojektowanych, Newton wykonywał sam, ale także skrzętnie zbierał wyniki eksperymentów przeprowadzanych przez innych. Kontakt z doświadczeniem jest istotną częścią metody Newtona. To właśnie doświadczenie wspólnie ze ścisłością matematycznej dedukcji pozwala trzymać na wodzy twórczą wyobraźnię. Te dwa elementy – empiryczna kontrola i ścisłość matematyki – nie tylko wzajemnie się uzupełniają, ale wręcz razem tworzą organiczną całość. Z jednej strony, liczbowe wyniki pomiarów stanowią „wejścia” do matematycznych struktur; z drugiej strony, doświadczenie ogranicza, niejako kanalizuje nieograniczone możliwości rozga-

łężania się matematycznych struktur. Matematyczna dedukcja, wychodząc z tych samych danych eksperymentalnych, może prowadzić w różnych kierunkach. O tym, czy został wybrany właściwy kierunek, musi zdecydować porównanie ostatecznych wniosków wyrażonych w liczbach z kolejnymi wynikami eksperymentów. Dobrze (ale niekoniecznie), jeżeli to porównanie ma charakter predykcji.

Tabele Newtona mają podwójny charakter. Jedne ustalają wejściowe dane do konkretnych modeli procesów fizycznych. Gdy teoria nie przewiduje wartości konkretnych parametrów, trzeba je ustalić empirycznie. Na przykład w rozdziale VI Księgi II Newton skonstruował matematyczny model ruchu wahadła w różnych ośrodkach, a następnie – w Scholium Ogólnym do tego rozdziału – zreferował niezwykle dokładnie przeprowadzone doświadczenia zmierzające do wyznaczenia oporu stawianego przez różne ośrodki, w których wahadła się poruszały.

Wprawdzie tego rodzaju doświadczenia ustalają przede wszystkim wartości swobodnych parametrów, niejako wolnych miejsc w teorii, ale pośrednio służą także potwierdzeniu całej teorii. Jeżeli modele z tak ustalonymi wartościami parametrów pracują poprawnie, dając wyniki zgodne z innymi modelami, których wolne parametry zostały już uprzednio ustalone, teoria zyskuje na wiarygodności. W przeciwnym przypadku wymagałaby korekty.

Inne tabele Newtona służą bezpośrednio porównaniu teoretycznych predykcji teorii z danymi empirycznymi. Tego typu tabel jest szczególnie dużo w III Księdze *Principiów*. Newton porównuje tam swoją rekonstrukcję układu planetarnego z obserwacjami astronomicznymi. To jest kamień węgielny matematyczno-empirycznej metody. Każda teoria fizyczna musi stanąć przed tego rodzaju trybunałem. Wprawdzie, zdaniem filozofów, ostatecznym kryterium naukowości każdej teorii nie jest weryfikacja, lecz możliwość jej sfalsyfikowania, ale nie wolno zapominać, że ostatecznie cel nauki polega na zdobywaniu informacji o świecie, a nie na jej odrzucaniu. Teoria niefalsyfikowalna jest nienaukowa tylko w tym sensie, że nie mając możliwości stwierdzenia swojej fałszywości, nie ma szans na uzyskanie informacji o tym, co jest.

Newton traktował swoje dzieło jako polemikę z metodą Kartezjusza. I miał ku temu powody. Metoda Kartezjusza nie tylko szybko rozprzestrzeniła się na kontynencie europejskim, ale także zapaściła korzenie na Wyspach Brytyjskich. Jeszcze w 1693 r., a więc sześć lat po opublikowaniu *Principiów*, Joseph Addison z Magdalen College w Oksfordzie wygłosił orację na cześć Kartezjusza, który tak dzielnie doszedł do prawdy i zwalczył Arystotelesa, a William Whiston ubolewał, że podczas gdy w Edynburgu uczy się Newtona, my, nieszczęśni biedacy, w Cambridge haniebnie studiujemy fikcyjne Kartezjańskie hipotezy⁸. O ścieraniu się fizyki Newtona z fizyką Kartezjusza świadczą dzieje przekładu francuskiego podręcznika Kartezjańskiej fizyki pióra Jacquesa Rohaulta. W Londynie łaciński przekład tego dzieła ukazał się w 1682 r. i to właśnie dzięki niemu kartezjanizm stał się znany w Anglii. Zapotrzebowanie na ten podręcznik było tak duże, że 15 lat potem dokonania nowego przekładu podjął się nie kto inny, jak Samuel Clarke, przyjaciel i uczeń Newtona. Whiston, mając widocznie wątpliwości co do użyteczności tego przekładu, tak oto starał się uzasadnić

⁸ Por. F. Cajori, *An Historical and Explanatory Appendix* zamieszczony w II tomie *Principiów*, *op.cit.*, przyp. 5.

decyzję Clarke'a: „Ponieważ nasza uniwersytecka młodzież musi obecnie mieć do dyspozycji jakiś system naturalnej filozofii do swoich studiów i ćwiczeń, a prawdziwy system Sir Isaaca Newtona nie został jeszcze odpowiednio spopularyzowany do tego celu, nie jest rzeczą niewłaściwą dla użytku młodzieży przełożyć i używać system Rohaulta, ale gdy tylko filozofia Sir Isaaca Newtona zostanie lepiej poznana, tylko ona powinna być uczona, a tamta zaniechana”⁹. Elegancki przekład Clarke'a dobrze spełniał tę dydaktyczną funkcję. W trzecim jego wydaniu, które ukazało się w 1710 r., Clarke dołączył do niego uzupełniające noty, które *de facto* ukazywały błędność fizyki Kartezjusza. W ten sposób łaciński podręcznik stał się pomostem do fizyki Newtona. Na dłuższą metę system kartezjański nie miał jednak szans. Czynnikiem decydującym okazała się zgodność z doświadczeniem. Intelektualne mody podtrzymywane różnymi społecznymi i psychologicznymi czynnikami mogą utrzymywać się dość długo, ale w końcu muszą ustąpić wymowie i pragmatyce empirycznych faktów. W kontynentalnej Europie fizyka Kartezjańska przetrwała dłużej, ale w końcu i tu została zepchnięta na dalekie marginesy nauki, a potem w ogóle przestała się liczyć.

*

Czy dzisiejsza fizyka jest nadal Newtonowska? Oczywiście, metody wypracowane przez Newtona zostały z czasem znacznie wyostrome. Niezwykle dynamiczny rozwój matematyki dostarczył fizyce narzędzi teoretycznych, o jakich Newton nie mógł mieć wyobrażenia, a rozwój technik eksperymentalnych pozwolił sięgnąć w obszary, do których nie miał on żadnego dostępu, ale metoda – kombinacja matematyki i eksperymentu – pozostaje ciągle ta sama. Największe osiągnięcia współczesnej fizyki – teoria względności i mechanika kwantowa z ich licznymi odgałęzieniami takimi jak astrofizyka relatywistyczna i teorie pól kwantowych – są dziełem ciągle tej samej metody rozwiniętej tylko do perfekcji. Rozwój może być niekiedy przyczyną trudności, mówimy wówczas o kryzysie wzrostu. Dzięki rozwojowi technik eksperymentalnych penetrujemy obecnie historię Wszechświata wstecz aż do epoki odległej od nas o prawie 14 miliardów lat (epoki, w której mikrofalowe promieniowanie tła odłączyło się od innych postaci materii) i w głąb prawie aż do odległości rzędu 2×10^{-18} cm (którą spodziewamy się osiągnąć w doświadczeniu LHC w CERN-ie pod Genewą). Ale teoretycy mają większe apetyty. Co dzieje się między tą skalą odległości a odległością Plancka rzędu 10^{-33} cm? A jaka fizyka obowiązuje pod „progiem Plancka”? Ponieważ nieprędko będziemy w stanie sięgnąć doświadczalnie do tych przynajmniej bliżej nas położonych, a dotychczas niezbadanych obszarów, pozostają do dyspozycji jedynie metody matematycznych spekulacji. I oczywiście teoretycy eksploatują je, jak to tylko możliwe. Teoria superstrun i M-teoria, teoria supergravitacji i pętli kwantowych, geometria nieprzemienialna i grupy kwantowe – to tylko najbardziej znane teoretyczne koncepcje, które mają ambicje przekroczyć barierę naszych doświadczalnych

⁹ *Ibidem*.

niemożności. Niekiedy słyszy się głosy, że dzisiejszy front badań naukowych porzuca bezpieczną metodę Newtona i wypracowuje zręby nowej metodologii. Myślę jednak, że tak nie jest, że są to tylko głosy zbyt pochopnie ulegające tendencjom polowania na sensacje. To prawda, że w wielu obszarach badawczych poruszamy się dziś na granicy stosowalności metody i teoretyczne spekulacje są potrzebne, aby tę granicę lepiej poznać i być może przesunąć ją nieco w pożądanym kierunku. Jeżeli jednak granicę tę kiedyś po prostu nieprawomocnie przekroczymy, to przestaniemy uprawiać fizykę i wkroczymy na teren jakiejś „zmatematyzowanej metafizyki”. Nie wystarczą bowiem same „zasady matematyczne”; muszą to być jeszcze „matematyczne zasady filozofii przyrody”, czyli – mówiąc dzisiejszym językiem – matematyczne zasady fizyki opartej na kontrolowanym doświadczeniu.

*

Wreszcie polska literatura (właśnie literatura!, bo przecież dzieło Newtona należy do światowego dziedzictwa) otrzymała przekład *Principiów*. I to przekład wyjątkowy. Na ogół tego rodzaju przekłady traktuje się jako historyczny zabytek, monument z przeszłości, któremu dzisiejsze czasy winny szacunek i pieczołowitość. Przekłady takie oddaje się do rąk historykom nauki i stawia na honorowej półce. Jarosław Wawrzycki, sam czynnie pracujący fizyk, potraktował swój przekład odmiennie: z szacunkiem dla historii, ale jako dzieło nadal żyjące w tym, co zapoczątkowało. Świadectwem tego są opracowane przez niego przypisy i przede wszystkim obszerny wstęp. Oprócz zwyczajowego w takich sytuacjach historycznego wprowadzenia zawiera on próbę odczytania *Principiów* oczyma uczonego wyposażonego w dobrą znajomość tego, co łączy – bo nie dzieli – współczesny stan fizyki z tym, czego dokonał Newton. Nie wiem, czy istnieje inny przekład dzieła Newtona, którego autor sam dokładnie przeliczyłby duże jego partie po to, aby zrozumieć nie tylko to, co Newton powiedział, ale także to, czego nie powiedział, a mógł lub powinien powiedzieć. Nauka nie tylko dopisuje do swojej historii kolejne rozdziały, ale także niejako ingeruje w swoją przeszłość, czyniąc ją bardziej zrozumiałą i bardziej przejrzystą.

Czytajmy więc Newtona nie jako monument przeszłości, lecz jako proces, który nadal się dzieje.

MICHAŁ HELLER

Tarnów, 11 stycznia 2010 r.