

WOJCIECH SADY

*Jakich hipotez nie stawiał Isaac Newton?*<sup>1</sup>

What hypotheses were not framed by Isaac Newton?

1. MITOLOGICZNY OBRAZ NAUKOWCA JAKO KOGOŚ,  
KTO WYMYŚLA I SPRAWDZA ŚMIAŁE HIPOTEZY

Zdaniem m.in. Karla R. Poppera i Carla G. Hempela (którego wykorzystam jako typowego reprezentanta empiryzmu logicznego w jego dojrzałym stadium) uprawianie nauki polega w istocie na tym, że formułujemy hipotezy, a następnie poddajemy je doświadczalnemu sprawdzeniu.

Hipotezy, jak twierdzą obaj wymienieni filozofowie nauki, są wytworami wyobraźni twórczej, której funkcjonowanie nie poddaje się rekonstrukcji logicznej. W szczególności, hipotezy nie powstają w wyniku indukcyjnego uogólniania zgromadzonych wcześniej danych doświadczalnych. Po pierwsze, bez hipotezy nie wiemy, co i w jaki sposób obserwować. Po drugie, większość hipotez zawiera terminy teoretyczne, nieodnoszące się do czegoś, co dostępne by było w doświadczeniu. Choć więc hipotezy są zwykle formułowane po to, aby wyjaśnić jakies wcześniejsze odkrycia doświadczalne, to, twierdzi Hempel: „Przejście od danych do teorii wymaga udziału wyobraźni twórczej. Hipotezy

---

<sup>1</sup> Tekst powstał w trakcie realizacji projektu badawczego własnego 1 H01A 009 29. Wcześniej pisałem o odkryciu prawa grawitacji przez Newtona w (Sady 1990, rozdz. 3) i (Sady 2005). W stosunku do pierwszego z tych tekstów obecny poprawia szereg znalezionych tam błędów, uzupełnia poważne braki i kreśli o wiele wierniejszy, mam nadzieję, obraz całości. Tekst drugi ujmuje całe zagadnienie z odmiennej perspektywy, choć pewne elementy obu tekstów, z uwagi na wspólny temat, pokrywają się.

i teorie naukowe nie są wywodzone z danych doświadczalnych, lecz wymyślane w celu ich wyjaśnienia” (Hempel 1961, rozdz. 2.3). Popper mu wtóruje: „[...] akt powzięcia pomysłu czy wymyślenia teorii ani nie wymaga analizy logicznej, ani się takiej analizie nie poddaje. [...] każde odkrycie kryje w sobie ‘element irracjonalny’ albo ‘intuicję twórczą’ w sensie Bergsona” (Popper 1934, § 2).

W szczególności Popper starał się wykazać, że Newton nie mógł wywieść, czy to indukcyjnie czy dedukcyjnie, swej dynamiki ze znanych mu wcześniej teorii Galileusza i Keplera. Z punktu widzenia teorii Newtona obie wspomniane teorie są co najwyżej w przybliżeniu prawdziwe, a w żaden sposób nie wynika z nich, że są przybliżeniami i jak te przybliżenia usunąć. Tak więc „[...] logika, dedukcyjna czy indukcyjna, nie pozwala na przejście od tych teorii do dynamiki Newtona. Przejścia tego dokonać może jedynie pomysłowość” (Popper 1957).

To, w jaki sposób wymyślono hipotezę, nie ma najmniejszego wpływu na ocenę jej wartości poznawczej. O tym, czy hipoteza ma charakter naukowy i czy jako taka powinna zostać zaakceptowana, decyduje, zdaniem obu filozofów nauki, wyłącznie to, czy jest doświadczalnie sprawdzalna i czy została sprawdzona z wynikiem pozytywnym.

Sprawdzanie hipotez o charakterze teoretycznym przebiega w dwóch fazach. Najpierw z hipotezy (i tego, co już wiemy o zjawiskach badanego rodzaju) wyprowadza się zdania obserwacyjne, przedstawiające przebieg możliwych doświadczeń. Następnie przeprowadza się odpowiednie doświadczenia i na ich podstawie stwierdza, czy owe zdania są prawdziwe czy fałszywe. Jeśli wydedukowane z hipotezy zdania obserwacyjne okażą się prawdziwe, to, według Hempela, hipoteza została doświadczalnie potwierdzona – a zatem należy ją zaakceptować. Popper wolał w tej sytuacji stwierdzać, że hipoteza „okazała hart” – i nie ma powodu, by ją odrzucać. Popper, w przeciwieństwie do Hempela, uważa, że kluczową rolę w historycznym rozwoju nauki odgrywa eliminowanie, w obliczu negatywnych wyników doświadczeń, hipotez i zastępowanie ich hipotezami lepszymi. W tym celu poddaje się hipotezy nieustannym sprawdzianom, które powinny być *surowe*, tzn. dotyczyć zjawisk, których zajście w świetle dotychczasowej wiedzy – ale bez uwzględnienia hipotezy sprawdzanej – jawi się jako mało prawdopodobne. Gdy wyniki doświadczeń zaprzeczają któremuś z wynikających z hipotezy zdań obserwacyjnych, sfalsyfikowaną hipotezę odrzuca się i wymyśla w jej miejsce hipotezę śmielszą, tzn. ogólniejszą, ściślejszą i prostszą niż jej sfalsyfikowane poprzedniczki i niesfalsyfikowane konkurentki.

## 2. ISAAC NEWTON: NA HIPOTEZY W NAUCE MIEJSKA NIE MA

Obie scharakteryzowane przed chwilą filozofie nauki, a zwłaszcza fałszyfikacjonizm Poppera, przeczą słynnej regule metodologicznej Isaaca Newtona, zgodnie

z którą – by użyć sformułowania z drugiego wydania *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687)<sup>2</sup> – w filozofii doświadczalnej (my powiemy: *w nauce*) *na hipotezy nie ma miejsca*. Ja sam, twierdził Newton, *hipotez nie stawiam*.

Na początku Księgi III sformułował on cztery Reguły Rozumowania w Filozofii:

REGUŁA I. *Nie należy dla rzeczy naturalnych przyjmować większej liczby przyczyn niż te, które są zarówno prawdziwe, jak i wystarczają dla wyjaśnienia ich przejawów.*

REGUŁA II. *A zatem tym samym skutkom naturalnym musimy, na ile to tylko możliwe, przypisywać te same przyczyny.*

REGUŁA III. *Te własności ciał, które nie podlegają ani wzmocnieniu, ani osłabieniu co do stopnia, i co do których stwierdzamy, że przynależą wszystkim ciałom w zasięgu naszych doświadczeń, należy uznać za uniwersalne własności wszystkich ciał w ogóle.*

REGUŁA IV. *W filozofii doświadczalnej należy twierdzenia wyprowadzone ze zjawisk za pomocą indukcji uważać za ściśle lub niemal prawdziwe, wbrew przeciwnym hipotezom, jakie mogłyby komuś przyjść do głowy, póki nie pojawią się inne zjawiska, na podstawie których można je albo uściślić albo poddać wyjątkom.*

Regułę IV – stanowiącą zasadniczy temat rozważań prowadzonych w tym artykule – opatruje Newton specjalną uwagą: „Musimy przestrzegać tej reguły, aby nie można było ominąć argumentacji indukcyjnej za pomocą hipotez”.

Bezpośrednio dalej formułuje szereg – wymienionych poniżej – twierdzeń dotyczących planet oraz ich księżyców i na tej podstawie formułuje

TWIERDZENIE VII. *Że istnieje siła grawitacji skierowana do wszystkich ciał, proporcjonalna do ilości materii, jaką one zawierają.*

I dodaje do tego jako wniosek, znów oparty na wynikach z Księgi I,

WN. 2. Siła grawitacji [skierowana] ku równym częściom dowolnego ciała jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości [danych] miejsc od tych części.

Formuły, która odpowiadałaby dokładnie tej, jaką znaleźć można w późniejszych podręcznikach, na kartach *Principia* nie ma, niemniej można rozproszone wywody, bez zmiany ich sensu, podsumować w postaci: *każde dwie (dowolnie małe) części ciał przyciągają się siłą grawitacji proporcjonalną do iloczynu ich mas, a odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między nimi.*

<sup>2</sup> Pisząc ten tekst, korzystałem z angielskiego przekładu Andrew Motte’a z 1729 r., a więc dokonanego jeszcze za życia Newtona, według edycji (1846). Zamiast podawać numery stron tego wydania, wszędzie dalej podaję numer księgi, a także numer odpowiedniego twierdzenia.

Siła taka działa w zasadzie przez pustą przestrzeń. Było to niezgodne z zasadami stylów myślowych arystotelizmu i kartezjanizmu, wedle których siły działać mogą jedynie przez kontakt, tzn. między ciałami dotykającymi się. Po opublikowaniu *Principia* założenie, iż siły mogą przenosić się przez próżnię – i to na wielkie odległości – stało się przedmiotem licznych krytyk. Newton też się wahał, o czym świadczy list do Richarda Bentleya z 25 lutego 1693 r.:

Przypuszczenie, że grawitacja jest przyrodzoną, nieodłączną i istotną cechą materii sprawiającą, iż jedno ciało może działać na drugie na odległość, bez pośrednictwa czegoś, co przekazywałoby między nimi działanie i siłę, jest dla mnie tak wielkim absurdem, że nie sądzę, by ktokolwiek obdarzony zdolnością rozważania zagadnień filozofii mógł to kiedykolwiek przyjąć. Grawitacja musi być wywołana przez czynnik działający stale według określonych praw; a czy jest to czynnik materialny czy niematerialny, to pozostawiłem do rozważań moim czytelnikom (cyt. za Wróblewski 2006, § 4.14).

Newton próbował wypełnić przestrzeń eterem, gęstniejącym w miarę oddalania się od ciał, próbował też zapewne innych rozwiązań, wszystko na próżno. W końcu w drugim wydaniu *Principia* (1713) dodał do Księgi III „Scholium Generale”, w którym w duchu metodologicznej Reguły IV pisał:

Dotychczas wyjaśniłem zjawiska dotyczące ruchów ciał niebieskich i ruchów naszego morza za pomocą siły grawitacji, ale jak dotąd nie wyznaczyłem przyczyny tej siły. Pewne jest, że musi ona pochodzić od przyczyny, która przenika do samych środków Słońca i planet, nie zmniejszając w najmniejszym stopniu wartości tej siły; że jej działanie nie zależy od powierzchni cząstek, na które oddziałuje (jak to jest w przypadku sił mechanicznych), zależy zaś od ilości materii, jaką one zawierają, a jej działanie rozchodzi się we wszystkie strony na ogromne dystanse, malejąc zawsze odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości. Ciężenie ku Słońcu składa się z ciężarów ku różnym częściom, z jakich zbudowana jest jego bryła; a w miarę oddalania się od Słońca zmniejsza się dokładnie jak odwrotność kwadratu odległości, aż do orbity Saturna, jak to wyraźnie wynika z nieruchomości apheliów planet, a nawet do najdalszych apheliów komet, jeśli one także są nieruchome. Jednak jak dotąd nie zdołałem odkryć na podstawie zjawisk przyczyny tych własności ciężenia, hipotez zaś nie formułuję; wszystko bowiem, co nie zostało wydedukowane ze zjawisk, należy nazwać hipotezą; a na hipotezy, metafizyczne czy fizyczne, dotyczące własności ukrytych czy mechaniczne, w filozofii doświadczalnej miejsca nie ma. W tej filozofii wyprowadza się ze zjawisk twierdzenia szczegółowe, a następnie uogólnia się je indukcyjnie. Tak właśnie odkryte zostały nieprzenikliwość, zdolność do ruchu, siły zderzeniowe ciał, a także prawa ruchu i grawitacji. I wystarczy nam, że grawitacja naprawdę istnieje i działa zgodnie z wyłożonymi przez nas prawami, oraz że w pełni wystarczy do wyjaśnienia wszystkich ruchów ciał niebieskich i naszego morza.

No właśnie: w nauce *na hipotezy nie ma miejsca*. Jest miejsce tylko *na twierdzenia wydedukowane ze zjawisk i ich indukcyjne uogólnienia*. One nam mają *wystarczyć*.

Będę bronił zasadniczej słuszności tych uwag – choć w świetle teorii stylów myślowych Ludwika Flecka, a także współczesnej logiki, będą one musiały zostać przeformułowane.

### 3. STYL MYŚLOWY I JEGO CZYNNA ROLA W POZNANIU

Uwagi Newtona zdają się przeczyć poglądom Hempela i Poppera pod co najmniej dwoma względami. (1) Ich zdaniem gmach wiedzy naukowej budowany jest z hipotez (które mniej lub bardziej tracą ten charakter po poddaniu ich doświadczalnemu sprawdzeniu); Newton stawiania hipotez zakazywał. (2) Ich zdaniem nowe twierdzenia, zwłaszcza teoretyczne, są wytworami wyobraźni, zaś między nimi a wcześniejszą wiedzą nie zachodzą jakieś określone relacje logiczne; Newton domaga się, by nowe twierdzenia były wywnioskowywane „ze zjawisk”.

Już pobieżna lektura prac Hempela, Poppera i Newtona uzmysławia nam, że ich wywody zawierają analogiczne nieporozumienie: pomija się w nich założeniowy charakter wszystkich prowadzonych w naukach dociekań. Hempel twierdzi, że nie istnieje logika odkrywania, gdyż nie da się logicznie przejść od zdań obserwacyjnych do teoretycznych. Popper zastanawia się, czy można z samych tylko teorii Galileusza i Keplera wywnioskować zasady dynamiki Newtona – choć obie te wcześniejsze teorie nie zawierały pojęcia siły takiego, jakiego użył Newton. A wreszcie sam Newton pisze o wnioskach ze zjawisk (współczesny filozof nauki napisałby tu: ze zdań przedstawiających zjawiska), choć ze zjawisk – zgodnie z uwagami Hempela i Poppera – nie da się wydedukować (ani wyindukować) zdań zawierających pojęcie siły. Newton nie zdawał sobie należycie sprawy z tego, co czynił, a obaj dwudziestowieczni filozofowie nauki związane z tym nieporozumienia jeszcze wzmocnili.

W świetle teorii kolektywów myślowych i stylów myślowych Ludwika Flecka<sup>3</sup> wszystko to jest wytworem fundamentalnego nieporozumienia. Naukowcem nie zostaje się, zaczynając od gromadzenia wyników doświadczeń. Zostaje się nim, przyswajając sobie pewien styl myślenia wypracowany przez naukowy kolektyw myślowy, a zarazem opanowując zgromadzoną w jego ramach wiedzę o świecie.

Wyszkolony naukowiec *spostrzega* świat przez okulary przyswojonego stylu myślowego, a opisuje wyniki eksperymentów, używając od razu języka teorii.

---

<sup>3</sup> (Fleck 1935), (Fleck 1935), (Fleck 1936). Te i inne prace przedrukowano w (Fleck 2006). Zob też moje krótkie wprowadzenie do teorii kolektywów myślowych i stylów myślowych Flecka (Sady 2000).

Jego myślenie obraca się w obrębie obrazu świata, jaki sobie przyswoił – choć nie zdaje sobie z tego sprawy, gdyż założenia czynne traktuje jako oczywiste, jako odzwierciedlenie samej rzeczywistości, a nie jako coś społecznie wytworzonego. W trakcie profesjonalnego szkolenia nauczył się wyciągać z przyjętych zdań wnioski. Wśród tych przyjętych zdań znajdują się założenia czynne stylu myślowego, bierne rezultaty wywiedzione wcześniej z udanych zastosowań tegoż stylu, a wreszcie wyniki nowych doświadczeń. Zamiast mnożyć wyjaśnienia, przyjrzyjmy się przebiegowi dociekań Newtona, które jemu jawiły się jako wywnioskowanie prawa grawitacji ze zjawisk.

#### 4. DROGA NEWTONA DO PRAWA GRAWITACJI

Isaac Newton przyjęty został w 1661 r. do Trinity College w Cambridge. Studiował matematykę pod kierunkiem Isaaca Barrowa m.in. z *Elementów* Euklidesa, *Stożkowych* Apolloniosa z Perge i *Geometrii* Kartezjusza. Od dociekań astrologicznych szybko przeszedł do zgłębiania matematycznej astronomii. Wkrótce po ukończeniu studiów, chroniąc się przed zarazą, spędził okres od sierpnia 1665 r. do kwietnia 1667 r. w rodzinnym domu na wsi. Sformułował wtedy podstawy rachunku różniczkowego i całkowego, teorię barw, a wreszcie, jak wspominał w liście pisanym pół wieku później,

[...] z prawa Keplera mówiącego o proporcjonalności kwadratów okresów obiegu planet do sześciątów odległości od środków ich orbit wywnioskowałem, że siły utrzymujące planety na ich torach muszą być odwrotnie proporcjonalne do kwadratów odległości od środków, wokół których obiegają [...]<sup>4</sup>.

Niektórzy kwestionują prawdziwość tych wspomnień. Wiele wskazuje na to, że Newton w tamtych latach myślał o ruchach planet w kategoriach raczej sił *odśrodkowych* niż *dośrodkowych*. Próba zaś zastosowania domniemanego prototypu prawa grawitacji do jednoczesnej analizy ruchu Księżyca i ruchów ciał w pobliżu powierzchni Ziemi prowadziła – z powodu błędnych danych, jakimi dysponował – do rozbieżności rzędu 15%. Tak czy inaczej, w opublikowanych tekstach Newtona i zachowanych rękopisach z okresu od 1666 r. do 1679 r. brak choćby jednej wzmianki o problemach ruchów ciał. (W tym czasie ogłosił on szereg prac na temat światła, kilka rozpraw matematycznych, prowadził badania alchemiczne, zajmował się teologią.)

24 listopada 1679 r. Robert Hooke napisał do Newtona list, w którym wyraził opinię, że

---

<sup>4</sup> List do Pierre'a des Maizeaux, chyba z 1717 lub 1718 r., cyt. za (Wróblewski 2006, § 4.12).

[...] ruch planet można złożyć z ruchu prostoliniowego wzdłuż stycznej i ruchu ku ciału centralnemu wskutek przyciągania (cyt. za Wróblewski 2006, § 4.12).

Był to, rzecz jasna, przejaw myślenia kształtowanego przez zasadę ruchów bezwładnych w wersji Kartezjusza, który czterdzieści lat wcześniej stwierdził, że

[...] każda cząstka materii wzięta z osobna pozostaje zawsze w jednym i tym samym stanie, póki napotkanie innych nie zmusi jej do jego zmiany. [...] każda z cząstek [materii] z osobna dąży zawsze do tego, by kontynuować swój ruch po linii prostej (Descartes ok. 1633, rozdz. VII).

Wcześniej w 1674 r. Hooke ogłosił *An Attempt to Prove the Motion of the Earth by Observation*, gdzie oznajmiał, że jego system świata oparty jest na trzech przypuszczeniach:

Po pierwsze, że wszystkie bez wyjątku ciała niebieskie są obdarzone właściwością ciężenia, czyli przyciągania do swych środków i dzięki temu przyciągają nie tylko swe własne części, uniemożliwiając im odłączanie się (jak to obserwujemy w przypadku Ziemi), lecz także przyciągają wszystkie inne ciała niebieskie znajdujące się w sferze ich działania, wskutek czego nie tylko Słońce i Księżyc mają wpływ na bryłę i ruch Ziemi, a Ziemia – wpływ na nie, lecz także Merkury, Wenus, Mars, Jowisz i Saturn przez swe przyciągające moce mają znaczny wpływ na ruchy Ziemi i w tenże sposób moc przyciągania Ziemi ma znaczny wpływ na ruch każdego z tych ciał. Drugie założenie to, że wszystkie ciała, będące w ruchu jednostajnym po prostej, pozostaną w tym ruchu, póki nie zostaną przez jakieś działające moce odchylone i zmuszone do ruchu po okręgu, elipsie lub jakiejś innej krzywej złożonej. Trzecie założenie to, że te moce przyciągania są tym silniejsze w działaniu, im bliżej ciało, na które działają, znajduje się ich środków; ale jakie są tego stopnie, tego jeszcze nie potwierdziłem doświadczalnie (cyt. za Wróblewski 2006, § 4.11).

Na list z 1679 r. Newton odpowiedział lekceważąco, oznajmiając, że nie zna pracy Hooke'a z 1674 r., a przy okazji nadmieniając o własnym pomysle udowodnienia ruchu Ziemi przez obserwację ciał spadających. Hooke łatwo wykazał, że rozumowanie Newtona zawiera błędy. A w liście do niego z 6 stycznia 1680 r. stwierdzał, iż siła grawitacji maleje proporcjonalnie do kwadratu odległości. 17 stycznia w kolejnym liście wyrażał przekonanie, że Newton, dzięki swym znakomitym metodom matematycznym, zdoła obliczyć, po jakich krzywych pod działaniem takiej siły poruszają się ciała.

Na te dwa ostatnie listy Newton nie odpowiedział. Trzeba pamiętać, że – urodzony po śmierci ojca i porzucony we wczesnym dzieciństwie przez matkę, która wyszła powtórnie za mąż – był to człowiek o neurotycznej osobowości,

niesłuchanie konfliktowy, a przy tym skryty, który przeżył życie bez rodziny i przyjaciół. Niezależnie od tego, czy sam zdawał sobie z tego sprawę, to zapewne lektura listów i może książki Hooke'a wprowadziła go w podstawy nowego stylu myślenia, jaki krok po kroku kształtował się od prac Jana Buridana i Mikołaja z Oresme (XIV w.), Mikołaja Kopernika, Galileusza i Kartezjusza poczynając. Pozostał jeszcze do zrobienia ważny krok, którego dokonanie zależało od przewyciężenia poważnych w tej epoce trudności matematycznych. I o to prosił Hooke Newtona w liście z 17 stycznia 1680 r.

Niezależnie więc od tego, co sam Newton o tym sądził, to kształtujący się właśnie nowy kolektyw myślowy pobudził go do wytężonej pracy nad przejściem od praw Keplera do wyrażenia na siłę grawitacji i na odwrót. Z zadania wywiązał się, jak się zdaje, w 1682 r., ale – co znów tłumaczyć trzeba cechami jego osobowości – uzyskanych wyników nie opublikował.

Na początku 1684 r. Hooke, William Halley i Christopher Wren dyskutowali w Londynie nad zagadnieniem ruchów planet. Halley oświadczył, że z III prawa Keplera i własnego wzoru na siłę odśrodkową wywnioskował, iż siła, jaką Słońce działa na planety, maleje proporcjonalnie do kwadratu odległości. Jednak III prawo zakłada, że tory planetarne są z dobrym przybliżeniem okręgami, podczas gdy prawa I i II orzekały, iż są one eliptyczne. Do elips dyskutanci przejść nie potrafili. Po kilku miesiącach daremnych wysiłków Halley udał się do Cambridge, by poprosić o pomoc Newtona – i dowiedział się, że ten niezbędne obliczenia już przeprowadził.

W listopadzie Newton przesłał mu 9-stronicowy tekst *De motu corporum in gyrum*, w którym z założenia, że siła grawitacji maleje proporcjonalnie do kwadratu odległości wyprowadził I i II prawo Keplera, a także wykazał, że komety mogą się poruszać po parabolach i hiperbolach. Potrzebnych narzędzi matematycznych dostarczyły mu wspomniane już *Stożkowe Apolloniosa*<sup>5</sup>. W tym tekście pisał jeszcze o sile wrodzonej utrzymującej ciało w ruchu jednostajnym po linii prostej – i dodawał ją według zasady równoległoboku do siły grawitacji. Mieszały się więc w *De motu* arystotelizm, teoria impetusu i kartezjanizm: ruch wymaga nieustannego działania siły (Arystoteles), siła podtrzymująca ruch tkwi wewnątrz ciała (Buridan), a utrzymuje je w ruchu jednostajnym po linii prostej, zaś siła zewnętrzna jest czynnikiem zmieniającym „ilość ruchu” (Kartezjusz).

W poprawionej wersji *Propositiones de motu* z końca 1684 r. Newton uchylił zawarte w prawach Keplera założenie o nieruchomości Słońca, stwierdzając, że ponieważ planety działają siłami grawitacji na Słońce, ono także porusza się wokół środka masy całego układu.

---

<sup>5</sup> Rekonstrukcję geometrycznego wyprowadzenia formuły  $F \sim 1/r^2$  z praw Keplera i definicji siły jako proporcjonalnej do przyspieszenia zob. (Hanson 1958, § V. C).

W ciągu kolejnych kilkunastu miesięcy Newton w niesłychanym napięciu pracował nad tekstem *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Książka ukazała się drukiem w lipcu 1687 r. Tekst zaczyna się od definicji, których nie włącza się do współczesnych podręczników mechaniki. Jeśli przetłumaczymy je na bliższy nam język, to określone tam zostają kolejno (I) „ilość materii” (późniejsza *masa*) jako iloczyn gęstości i objętości, (II) „ilość ruchu” (pęd) jako iloczyn prędkości i ilości materii, (III) „siła wrodzona materii” jako zdolność ciała do stawiania oporu siłom do niego przyłożonym, wskutek czego dąży ono do utrzymania dotychczasowego stanu spoczynku lub ruchu jednostajnego prostoliniowego. Dalej następuje „Scholium”, gdzie znajdujemy wywody na temat (I) czasu absolutnego, który „upływa równomiernie bez związku z czymkolwiek zewnętrznym” i czasu względnego, będącego „postrzeganą zmysłami [...] miarą trwania”, (II) przestrzeni absolutnej, która „bez związku z czymkolwiek zewnętrznym pozostaje zawsze taka sama i nieruchoma”, oraz przestrzeni względnej, będącej „pewnym ruchomym wymiarem lub miarą przestrzeni absolutnej”, (III) miejsca absolutnego i względnego, (IV) ruchu absolutnego i względnego.

## 5. REKONSTRUKCJA ROZUMOWAŃ WIODĄCYCH DO PRAWA GRAWITACJI

Pora scharakteryzować te założenia czynne, jakimi Newton dysponował ok. 1680 r., a które ignorują w swoich rozważaniach zarówno Hempel, jak i Popper.

Znał dwie konkurencyjne zasady ruchów bezwładnych: Galileuszową zasadę bezwładnych ruchów kołowych i Kartezjańską zasadę bezwładnych ruchów prostoliniowych. Czy istniało kryterium wyboru między nimi? Nie. Obie miały charakter założeń czynnych: określały, co rozumie się przez „ruch bezwładny”. (Jest to termin wprowadzony później, ale u wielu fizyków XVII w. można znaleźć jakiś jego odpowiednik.) Dostarczały narzędzi do teoretycznej analizy wyników doświadczeń – a zatem w żadnym sensie wyniki doświadczeń nie mogły być z nimi zgodne bądź niezgodne. W takiej sytuacji wybór jest dowolny: trzeba przyjąć któreś z dostępnych założeń i stosować je w badaniach kolejnych zjawisk. W trakcie takich badań dochodzi się do twierdzeń biernych wzbogacających system wiedzy. Tego, w jaki sposób styl myślowy rozwinie się w wyniku kolejnych zastosowań, nie da się przewidzieć – można jedynie go rozwijać i po czasie stwierdzić, co z tego wyszło. Nam pozostaje skonstatować, że choć w 1665 r. Newton zdawał się myśleć mniej lub bardziej po Galileuszowsku, to po 1679 r., chyba pod wpływem listów i prac Hooke'a, przyjął Kartezjańską zasadę ruchów bezwładnych prostoliniowych wraz z zasadą zachowania pędu. Wiązało się z tym pojęcie siły jako czegoś, co zmusza

ciało do zmiany prędkości lub kierunku ruchu. Pozostawało taki styl myślenia zastosować do analizy ruchów planetarnych.

Jeśli chodzi o twierdzenia, jakie Kepler zawarł na kartach *Astronomia nova* i *Harmonices mundi*, to obserwacje przejść Merkurego i Wenus na tle tarczy słonecznej, dokonane w latach 30. XVII w., potwierdziły trzy z nich – znane odtąd jako Keplerowskie prawa ruchów planetarnych. Inne prawa, jakie znaleźć można w wymienionych książkach – łączące rozmiary orbit planetarnych z pięcioma bryłami platońskimi, przypisujące ruchom planet odpowiednie dźwięki i skale muzyczne, wiążące je z rodzajami głosów ludzkich itd. – żądanych udanych zastosowań nie znalazły i jako *bezużyteczne* (raczej niż jako *falszywe*) poszły w zapomnienie.

Do czasu gdy Newton podjął dociekania, trzy prawa Keplera stały się własnością kolektywną – do tego stopnia, że w *Principia* błędnie przypisuje ich autorstwo Kopernikowi. O Keplerowskich prawach o charakterze „muzycznym” nie wspomina – i najwyraźniej o nich nie wie. Przejął trzy prawa Keplera nie z jego dzieł, ale od swojego kolektywu myślowego, który, zgodnie z uwagami Flecka, dokonał selekcji twierdzeń z kart *Astronomia nova* i *Harmonices mundi*, włączając te, które znalazły udane zastosowania, do zasobu wiedzy podręcznikowej, a pozostałe skazał na niebyt.

Wyprowadzenie wyrażenia na siłę grawitacji z III prawa Keplera jest trywialne. Najtrudniejsza część rozumowania – przeprowadzona przez Christiana Huygensa chyba jeszcze pod koniec lat 50. XVII w. – to ustalenie, że ciało poruszające się ze stałą prędkością  $v$  po okręgu o promieniu  $r$  doznaje przyspieszenia  $a_r$  skierowanego do środka okręgu o wartości:

$$a_r = v^2/r \quad (2.1)$$

Przy wyprowadzeniu (2.1) zakłada się, najczęściej milcząco, że czas upływa równomiernie i wszędzie jednakowo, oraz że przestrzeń jest euklidesowa, jednorodna (nie ma w niej miejsc wyróżnionych) i izotropowa (nie ma w niej kierunków wyróżnionych).

III prawo Keplera zapisać można w postaci

$$r_{PS}^3/T_{PS}^2 = k_S, \quad (2.2)$$

gdzie  $r_{PS}$  – średnia odległość planety od Słońca,  $T_{PS}$  – okres obiegu planety wokół Słońca,  $k_S$  – stała identyczna dla wszystkich planet (indeks S informuje, że chodzi o ruch wokół Słońca). Podstawiając  $T = 2\pi r/v$  otrzymujemy z (2.1) i (2.2), po paru trywialnych przekształceniach, że przyspieszenie każdej z planet jest skierowane ku Słońcu i wynosi

$$a_{PS} = k_S/r_{PS}^2, \quad (2.3)$$

gdzie stała  $k$  jest równa stałej ze wzoru (2.2) pomnożonej przez  $4I^2$ . Stąd i z definicji siły

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} , \quad (2.4)$$

przy której milcząco przynajmniej zakłada się zasadę ruchów bezwładnych prostoliniowych, otrzymujemy natychmiast, że na każdą z planet działa siła skierowana ku Słońcu, odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości planeta–Słońce. (II zasadę dynamiki Newtona w tej postaci zapisał po raz pierwszy Euler w 1752 r., niemniej nie zmienił on w niczym sensu podanych przez Newtona wyprowadzeń i dlatego mogę posłużyć się takim zapisem.)

Przyspieszenie dośrodkowe planet (2.3) nie zależy od ich mas, co przy oczywistym dość założeniu, że masy planet są różne, prowadzi od razu, zgodnie z (2.4), do wniosku, iż siła grawitacji działająca na każdą z planet w kierunku Słońca  $F_{PS}$  jest proporcjonalna do jej masy:

$$F_{PS} = k_s m_p / r_{PS}^2 . \quad (2.5)$$

Tak z grubsza musiały przebiegać dociekania Hooke'a i Halleya. Wszystkie kroki wiodące od analitycznej formuły (2.1), uzyskanej na podstawie danych empirycznych (2.2) i definicji siły (2.4) do (2.5) miały charakter dedukcyjny.

Problem, jak już wspomniano, polegał na tym, że wyprowadzenie zostało dokonane przy założeniu, iż orbity planet są okręgami – o czym wiedziano, że jest prawdą jedynie w przybliżeniu. Dedukcyjny charakter wnioskowań gwarantował więc co najwyżej przybliżoną prawdziwość wniosków.

W *De motu corporum in gyrum* z jesieni 1684 r. Newton wykazuje, że z założenia o odwrotnej proporcjonalności siły grawitacji do kwadratu odległości wynikają I i II prawo Keplera. Wyprowadzenie to jest odwracalne: z I i II prawa Keplera, wspomnianych powyżej założeń o naturze czasu i przestrzeni i definicji siły (2.4) wynika matematycznie, iż na każdą z planet działa siła odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między tą planetą a Słońcem.

$$F_{PS} \sim 1/r_{PS}^2 . \quad (2.6)$$

Wnioskowanie to było dedukcyjne: gwarantowało, przy prawdziwości praw Keplera i przyjętych założeń czynnych, prawdziwość (2.6).

Po wyprowadzeniu (2.6) można było jako kolejną przesłanką posłużyć się III prawem Keplera, aby z niego, w koniunkcji z (2.6) i dość oczywistego założenia, że masy planet są różne, wywnioskować (2.5).

Zamiast śledzić kolejne rękopisy, zajrzyjmy od razu do *Principia*, gdzie znaleźć można, jak sądzę, wyraźne ślady rozumowań, które prowadziły Newtona krok po kroku do sformułowania prawa grawitacji.

Księga I to obszerne rozwinięcie – po usunięciu siły wrodzonej – wywodów z *De motu corporum in gyrum*. Znajdujemy tam geometryczne dowody, iż pod działaniem siły centralnej odwrotnie proporcjonalnej do kwadratu odległości ciała poruszać się mogą po elipsach, parabolach lub hiperbolach, oraz że promień łączący je z centrum siły zakreśla równe pola w równych odstępach czasu.

Księgę II możemy na razie pominąć.

W Księdze III – o charakterze najmniej matematycznym ze wszystkich – zaraz po przytoczonych na początku tego rozdziału Regułach Rozumowania następuje lista zjawisk. Upraszczaając Newtonowskie sformułowania, można scharakteryzować je następująco. Zjawisko I: księżyce Jowisza obiegają go w taki sposób, że odcinki łączące je z Jowiszem zakreślają równe pola w równych odstępach czasu, a stosunek trzeciej potęgi ich średniej odległości od Jowisza do kwadratu okresu obiegu ma dla nich wszystkich tę samą wartość. Zjawisko II to ruchy księżyców Saturna, przebiegające zgodnie z analogicznymi zależnościami. Zjawisko III: „pierwotne” planety, czyli Merkury, Wenus, Mars, Jowisz i Saturn, obiegają Słońce, a świecą światłem odbitym – o czym świadczy zmiana ich obserwowanych przez teleskop kształtów, a także to, że na tarczach Jowisza i Saturna widać niekiedy cienie rzucane przez ich księżyce. Zjawisko IV: ruchy pierwotnych planet spełniają III prawo Keplera. Zjawisko V: ruchy tych planet spełniają II prawo Keplera, jeśli promień, o którym mowa w prawie, łączy każdą z nich ze Słońcem (a nie z Ziemią). Zjawisko VI: promień łączący Ziemię i Księżyc zakreśla równe pola w równych odstępach czasu.

Na tej podstawie bezpośrednio dalej sformułowanych zostaje kilka twierdzeń o analogicznej postaci: Na księżyce Jowisza działa siła skierowana ku niemu i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości danego księżycy od środka Jowisza. Analogiczne zależności obowiązują dla księżyców Saturna. Na planety pierwotne działa siła skierowana ku Słońcu i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości danej planety od środka Słońca. Na Księżyc działa siła skierowana ku Ziemi i odwrotnie proporcjonalna do odległości Księżycy od środka naszej planety. Podsumowując,

*TWIERDZENIE V. Że planety okołojowiszowe ciążą ku Jowiszowi; okołosaturnowe ku Saturnowi; okołosłoneczne ku Słońcu i przez siły swej ciężkości są odchylane od ruchów prostoliniowych, utrzymywane zaś na orbitach krzywoliniowych.*

Zgodnie z Regułami Rozumowania I, II i IV Newton uogólnia indukcyjnie uzyskane wyniki:

*TWIERDZENIE VI. Że wszystkie ciała ciążą ku każdej z planet i że ciężary ciał w stosunku do dowolnej tej samej planety, w równych odległościach od jej środka, są proporcjonalne do ilości materii, jaką one z osobna zawierają.*

I tu Newton przywołuje dwa argumenty doświadczalne. Po pierwsze, o czym już była mowa, choć planety okołosłoneczne, a także księżycy okołojowiszowe, różnią się ilością zawieranej materii, to gdyby znalazły się w równej odległości od Słońca lub od Jowisza, to doznawałyby w ich kierunku takich samych przyspieszeń (co wynika z III prawa Keplera). Stąd wniosek:

[...] siły, które nadają równe przyspieszenia nierównym ciałom, muszą być takie, jak te ciała: to znaczy ciężenie planet ku Słońcu musi być równe ich ilości materii.

Wcześniej mamy argument bardzo ciekawy, świadczący o tym, że Newton przeniósł zakres obowiązywania prawa grawitacji z nieba na rzeczy znajdujące się w pobliżu powierzchni Ziemi. Opisuje mianowicie wyniki eksperymentów z wahadłami – znane już Galileuszowi – w których na sznurach o długości 11 stóp zawieszano identyczne pojemniki wypełniane kolejno złotem, srebrem, ołowiem, szkłem, piaskiem, solą kuchenną, drewnem, wodą i pszenicą. Ilość materii zmieniała się znacznie, a mimo to okres wahań pozostawał prawie niezmienny. (Niewielkie zmiany łatwo dawało się tłumaczyć stosunkowo większym w przypadku lżejszych ciał wpływem oporu powietrza.)

Jak przedstawione tu wywody wyglądają z punktu widzenia logiki?

Z III prawa Keplera, wspomnianych założeń o naturze czasu i przestrzeni oraz z założenia, że masy planet są różne, wynikało, że przyspieszenie, jakiego doznaje dana planeta w stronę Słońca, nie zależy od jej masy. Stąd, w koniunkcji z (2.6) i II prawem mechaniki, wynikało matematycznie (2.5). Na tym etapie rozważań można było sądzić, że wszystkie przesłanki są ściśle prawdziwe, a zatem (2.5), jako dedukcyjny z nich wniosek, jest też ściśle prawdziwe.

Stąd, że ruchy księżyców Jowisza spełniały prawo analogiczne do III prawa Keplera, w koniunkcji z (2.4) i założeniem, iż masy księżyców są różne, wynikało, że na księżycy Jowisza działa siła skierowana ku niemu, równa

$$F_{KJ} = k_J m_K / r_{KJ}^2, \quad (2.7)$$

gdzie  $r_{KJ}$  – średnia odległość danego księżycy od Jowisza,  $m_K$  – jego masa, a  $k_J$  – stała o wartości innej niż  $k_S$  ze wzoru (2.2). I analogicznie, na księżycy Saturna działa siła dana wzorem

$$F_{LSt} = k_{St} m_L / r_{LSt}^2, \quad (2.8)$$

gdzie indeksy  $L$  oznaczają, że zmienne przebiegają po księżycach Saturna, do którego z kolei odnosi się indeks  $St$ .

Księżyc obiega Ziemię po elipsie, a odcinek łączący środki obu ciał zakreśla równe pola w równych odstępach czasu. Stąd i z przesłanek wymienionych

powyżej wynikała formuła analogiczna do (2.6). Ziemia ma tylko jednego satelitę, a zatem nie można było, jak w przypadku satelitów Jowisza i Saturna, wyciągnąć wniosku o proporcjonalności siły działającej na Księżyc do jego masy. Newton w komentarzu do Twierdzenia IV zastępuje to porównaniem przyspieszenia, jakiego doznaje Księżyc w stronę Ziemi z przyspieszeniem, z jakim spadają na Ziemię małe ciężkie ciała – i stwierdza, że ich stosunek jest w granicach błędów doświadczalnych równy stosunkowi kwadratu odległości środków Ziemi i Księżyca do kwadratu promienia Ziemi. Nieco dalej dowodzi twierdzenia, potrzebnego mu w tym miejscu: dwie sfery o jednorodnym rozkładzie materii będą grawitacyjnie oddziaływać ze sobą tak, jakby całe ich masy znajdowały się w ich środkach. A to prowadzi wprost do formuły dokładnie analogicznej do (2.5), (2.7) i (2.8):

$$F_{XZ} = k_Z m_X / r_{XZ}^2, \quad (2.9)$$

gdzie  $F_{XZ}$  – skierowana ku Ziemi siłą działająca na Księżyc lub na dowolne ciało znajdujące się blisko jej powierzchni. Oczywiście  $k_{St} \neq k_J \neq k_S \neq k_Z$ .

Ciekawie brzmi dodane do Twierdzenia IV Objaśnienie. Wyobraźmy sobie, powiada Newton, że Ziemia posiada kilka księżyców, podobnie jak Jowisz i Saturn. Poruszałyby się one wtedy zgodnie z prawami identycznymi z prawami Keplera dla planet.

I gdyby najniższy z nich był bardzo mały i znajdował się tak blisko Ziemi, że prawie by dotykał wierzchołków najwyższych gór, to siła dośrodkowa utrzymująca go na orbicie byłaby niemal dokładnie równa ciężarom dowolnych ciał ziemskich znajdujących się na tych górskich wierzchołkach, jak to wiemy na podstawie powyższych obliczeń. [...] I dlatego skoro obie te siły, ciężkość ciał ważkich i siły dośrodkowe księżyców, zwracają się do środka Ziemi i są do siebie podobne i sobie równe, to będą (na mocy Reguły I i II) miały tę samą przyczynę.

Takie jest Newtonowskie uzasadnienie objęcia ruchów ciał niebieskich i ziemskich tymi samymi prawami.

Wróćmy teraz do pominiętych dotąd rozważań z kart Księgi II *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Poświęcona jest ona głównie rozważaniom na temat ruchów ciał w gazach lub cieczach stawiających opór. Mamy też nieco rozważań nad rozchodzeniem się fal. A wreszcie Część IX poświęcona jest ruchowi wirowemu cieczy. Rozważania kulminują w Twierdzeniu LII i wyprowadzonych z niego konsekwencjach – które tu pominiemy – po czym w Objaśnieniu Newton stwierdza:

Próbowałem w tym twierdzeniu zbadać własności wirów, tak aby stwierdzić, czy za ich pomocą można objaśnić zjawiska niebieskie. Zjawisko jest takie, że okresy

planet krążących wokół Jowisza pozostają w stosunku kwadratów do sześciątów ich odległości od środka Jowisza; a ta sama reguła obowiązuje dla planet krążących wokół Słońca. A te reguły obowiązują również z największą ścisłością, jak to dotąd odkryto w wyniku obserwacji astronomicznych. Dlatego jeśli te planety są unoszone w wirach kręcących się wokół Jowisza i Słońca, to wiry te muszą kręcić się zgodnie z tym prawem. Tu jednak stwierdziliśmy, że okresy obrotów poszczególnych części wiru pozostają w podwójnym stosunku do odległości od centrum ruchu; a tego stosunku nie da się zmniejszyć czy zredukować do stosunków kwadratu do sześciatu, o ile bądź to materia wiru nie jest tym bardziej płynna, im dalej znajduje się od centrum, bądź też opór powstający z braku smarowności części cieczy, w miarę jak rośnie prędkość między jej częściami, nie zwiększa się w stosunku większym niż stosunek wzrostu prędkości. Żadne jednak z tych założeń nie wydaje się możliwe do przyjęcia.

Pomińmy znów szczegółową argumentację. Objaśnienie do Twierdzenia LIII kończy się następująco:

[...] tak więc hipoteza wirów jest całkowicie niezgodna ze zjawiskami astronomicznymi, a służy raczej temu, by pogmatwać, niż by wyjaśnić ruchy niebieskie. Jak te ruchy przebiegają w pustej przestrzeni, można zrozumieć na podstawie Księgi I; a teraz podejmę ten temat pełniej w kolejnej księdze.

Cały ten wywód skierowany jest przeciwko Kartezjańskiej koncepcji wirów eteru, unoszących planety wokół Słońca. A skoro eteru nie ma, to w ostatnim zdaniu Księgi II Newton zapowiada, iż potraktuje ruchy planet i ich księżyców *jako odbywające się w pustej przestrzeni*.

Podważenie, że międzyplanetarne przestrzenie są puste, pojawiło się już w pismach Tycho Brahego, w których wykazywał on, że kometa z 1577 r. poruszała się w obszarze poza Księżycem, zmieniając przy tym swoją odległość od Słońca. Newton w III Księdze *Principia* przytacza wyniki pomiarów odległości do komet, analizuje ich ruchy i wreszcie w komentarzach do Lematu IV wyciąga Wniosek 3: „przestrzenie niebieskie nie stawiają oporu”.

Póki do zbioru przesłanek nie dodano twierdzenia, że Słońce, planety i komety są jedynymi materialnymi (tzn. posiadającymi masę) składnikami Układu Słonecznego, to z I i II prawa dynamiki, założeń o naturze czasu i przestrzeni oraz z praw Keplera wynikało jedynie (2.5): na każdą z planet działa siła proporcjonalna do jej masy, a odwrotnie proporcjonalna do kwadratu jej odległości od Słońca. Nic natomiast stąd nie wynikało na temat sił, jakimi planety miałyby działać na Słońce. I analogicznie dla układów planet i ich księżyców.

Gdyby jakieś ciało  $A$  działało na ciało  $B$  siłą, zaś  $B$  nie działałoby na  $A$  siłą o takiej samej wartości, ale przeciwnie skierowaną, to – na mocy II zasady dynamiki – środek masy układu złożonego z  $A$  i  $B$  poruszałyby się ruchem przyspieszonym przy braku sił zewnętrznych na układ ten działających. To

zaś przeczyłoby I zasadzie dynamiki Newtona. Tak więc III zasada dynamiki, ta o równości akcji i reakcji, wynika z zasad I i II.

Skoro zatem na księżycie Jowisza działa siła skierowana ku niemu, to na Jowisza działają siły takie same, lecz przeciwnie skierowane. I podobnie dla układu Saturna i jego księżyców, dla Ziemi i Księżyca, a wreszcie dla układu Słońca i planet. Siła, jaka działa na Jowisza w kierunku księżycy  $K$  będzie, przez analogię z (2.8), równa

$$F_{JK} = k_K m_J / r_{JK}^2. \quad (2.10)$$

Ponieważ  $r_{JK} = r_{KJ}$  to  $\mathbf{F}_{KJ} = -\mathbf{F}_{JK}$  wtedy i tylko wtedy, gdy

$$k_K m_J = k_J m_K, \quad (2.11)$$

a taka równość zachodzi w ogólnym przypadku wtedy i tylko wtedy, gdy  $k_K = Gm_K$  oraz  $k_J = Gm_J$ , gdzie  $G$  – stała o nieznannej wartości. W ten sposób otrzymujemy wzór na siły działające między Jowiszem a każdym z jego księżyców:

$$F_{JK} = F_{KJ} = Gm_J m_K / r_{KJ}^2. \quad (2.12)$$

Jest to siła, dodajmy, zawsze przyciągająca i działająca wzdłuż linii łączącej środki ciał.

Dokładnie analogiczne do (2.13) formuły wynikały dla układów Słońce–planety, Saturn–jego księżycy i Ziemia–Księżyc. Przyszła pora na to, by – zgodnie z Regułą IV – *indukcyjnie uogólnić* wyprowadzone ze zjawisk i z założeń czynnych rodzącego się właśnie stylu myślenia zależności. Dokonamy tego zastępując indeksy odnoszące się do Słońca, planet i księżyców przez indeksy odnoszące się do dowolnych ciał  $A$  i  $B$ .

$$F_{AB} = F_{BA} = Gm_A m_B / r_{AB}^2, \quad (2.13)$$

Trzeba jeszcze dodać, że są to siły przyciągające, działające wzdłuż linii łączącej ciała – o ile ciała te można, tak jak w przypadku planet, traktować niczym punkty materialne. W przeciwnym razie należy, tak jak to czyni Newton, mówić o odległościach pomiędzy poszczególnymi dowolnie małymi częściami ciał, a całkowitą wartość siły obliczać przez scałkowanie po ich objętościach.

## 6. KOMENTARZ METODOLOGICZNY: INDUKCJA, ALE Z CZEGO?

Jak zostało wykazane, prawo grawitacji (2.13) nie było wytworem nieanalizowanej logicznie wyobraźni twórczej. Zostało ono wywnioskowane ze zjawisk i z czynnych założeń stylu myślowego – który ukształtował się, przynajmniej w postaci jakościowej, przed Newtonem – a potem indukcyjnie uogólnione na zjawiska inne. Zanim to dokładniej skomentujemy, pora odpowiedzieć na wspomniane powyżej argumenty Poppera.

Gdy już dysponujemy teorią Newtona, to wynika z niej, że ani Słońce nie jest dokładnie nieruchome, ani tory planet nie są dokładnie eliptyczne, ani odcinek łączący daną planetę ze Słońcem nie zakreśla równych pól w równych odstępach czasu. Czy to dowodzi – jak uważał Popper – że prawa grawitacji nie da się wywnioskować z praw Keplera i czynnych założeń stylu myślowego, który Newton przejął od swych poprzedników? Nie. Wszystkie zrekonstruowane powyżej wyprowadzenia wzorów do (2.12) włącznie były dedukcyjne, gwarantowały prawdziwość wniosków przy prawdziwości przesłanek. Po nich nastąpiło proste indukcyjne uogólnienie uzyskanych formuł. Jak to wytłumaczyć?

W początkowych fazach zrekonstruowanego tu ciągu wyprowadzeń nie wszystkie przesłanki dostępne Newtonowi były od razu brane pod uwagę. Najpierw wywnioskowano – co niezależnie uczynili Halley, Hooke i Newton – że na planety działa siła skierowana ku Słońcu, odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości. Następnie stwierdzono, że siła o analogicznej postaci działa na księżyc, a skierowana jest zawsze w stronę planety, którą dany księżyc okrąża. Po przywołaniu III prawa Keplera i oczywistego dość założenia, że masy ciał niebieskich są różne, wyprowadzono wniosek o proporcjonalności tych sił do mas ciał, na jakie one działają.

Dopiero potem, co zdają się potwierdzać zarówno ocalałe teksty Newtona, jak i kolejność wywodów na kartach *Principia*, w roli przesłanki pojawiła się zasada równości akcji i reakcji. Jej zastosowanie zależało od dodania twierdzenia, że przestrzeń międzyplanetarna jest pusta i nie istnieją inne składniki Układu Słonecznego niż te, które widać na niebie gołym okiem lub przez teleskop. Stąd wynikała formuła (2.12) i parę do niej dokładnie analogicznych. Uogólnienie ich do postaci (2.13) było trywialne.

Na pytanie, dlaczego Newton nie uwzględnił III zasady dynamiki od razu – a przecież na poziomie jakościowym jej użycie od razu budziło podejrzenia, że I i II prawo Keplera jest prawdziwe tylko w przybliżeniu – odpowiem, że taka jest właśnie natura ludzkich rozumowań. Bóg mógłby brać pod uwagę od razu wszystkie przesłanki, my musimy dostosować kolejne kroki w rozumowaniach do możliwości naszych umysłów. Dlatego jako przesłanek używać możemy jedynie części twierdzeń, jakie w danym czasie uważamy za prawdziwe.

Dlaczego Newton mógł w pierwszych fazach swych rozważań traktować I i II prawo Keplera jako ściśle prawdziwe? Było tak dzięki szczęśliwemu

zbiegowi okoliczności. Wymieńmy je, posługując się Newtonowskim stylem myślenia i wypracowanym w jego ramach obrazem świata.

Po pierwsze, masa Słońca jest na tyle duża w porównaniu z masami planet, że Kepler nie stwierdził rozbieżności między swoim modelem a danymi z tablic Tycho Brahego, ani tych związanych z ruchem Słońca wokół środka masy całego Układu Słonecznego, ani tych związanych ze wzajemnymi oddziaływaniami planet i ich księżyców. Dzięki temu w ogóle mógł odkryć swoje prawa. Trudno sobie wyobrazić, aby potrzebne wyprowadzenia dało się – zważywszy dostępne pod koniec XVII w. techniki matematyczne – przeprowadzić, gdyby pod wpływem wzajemnych oddziaływań planety wyraźnie zbaczały z torów eliptycznych.

Po drugie, rozmiary składników Układu Słonecznego są tak niewielkie w porównaniu z ich odległościami, że pierwsze wyprowadzenia można było przeprowadzić, traktując planety i ich księżyce, a nawet Słońce, niczym punkty materialne. W ten sposób zniknął problem, w pierwszej fazie rozważań nieprzewycięzalny, jaka odległość dzieli ciała (czy jest to odległość między najbliższymi punktami ich powierzchni, między środkami ich mas czy jeszcze jakaś inna).

Podsumowując, *dociekania nad ruchami ciał tworzących Układ Słoneczny mogły doprowadzić do odkrycia prawa grawitacji, gdyż układ ten z punktu widzenia systemu mechaniki Newtona był bardzo prosty.*

Na koniec zapytajmy, czy Newton ma rację, twierdząc w „Scholium Generale”, iż prawo grawitacji uzyskał, uogólniając indukcyjnie twierdzenia szczegółowe wyprowadzone ze zjawisk. Z punktu widzenia teorii stylów myślowych odpowiedzieć można: tak i nie.

Nie, gdyż w rozumowaniach Newtona jako przesłanki występowały nie tylko zdania opisujące zjawiska, ale też szereg założeń czynnych i twierdzeń biernych już uzyskanych i włączonych do rodzącego się stylu myślowego mechaniki klasycznej. Naukowiec jednak, jak podkreślał Fleck, zwykle nie zdaje sobie sprawy z kolektywnej natury swego spostrzegania i myślenia. I dlatego Newton, konstruując teoretyczne obrazy zgodnie z założeniami konstytutywnymi dla stylu myślowego, w którym uczestniczył, oraz ze zjawiskami spostrzeganymi przez pryzmat owych założeń, ulegał zarazem złudzeniu, że są to obrazy zjawisk samych w sobie. To, czego nauczył się od innych, uważał za rzeczywistość samą.

Wiarygodność cytowanego na początku § 3 listu Newtona jest niewielka, również jeśli pisał w dobrej intencji. Po latach uczestnicy wydarzeń rzadko pamiętają przebieg badań: zwykle konfabulują, tworząc obraz własnych dociekań takich, jakby od początku znali uzyskane wyniki. W 1717 r. ten zespół założeń czynnych, jaki przejął chyba w 1679 r. za pośrednictwem Hooke'a, stał się oczywistością – mógł więc uwierzyć, że tak myślał już w 1665.

Przypomnijmy następujący fragment ze „Scholium Generale”: „[...] w filozofii doświadczalnej [...] wyprowadza się ze zjawisk twierdzenia szczegółowe,

a następnie uogólnia się je indukcyjnie. Tak właśnie odkryte zostały [...] prawa ruchu i grawitacji”. Z punktu widzenia teorii stylów myślowych i współczesnej logiki należałoby to przeformułować następująco. Na podstawie założeń czynnych fizyki Arystotelesa i szeregu prostych zjawisk, takich jak ruchy rzuconego w górę kamienia, kuli toczącej się po gładkiej poziomej powierzchni, rozpędzonego statku ze stertą słomy na pokładzie, a wreszcie ruchu wirowego koła młyńskiego, sformułowano, jako twierdzenie bierne, teorię nabytej siły poruszającej. Wynikało z niej, że przy braku oporów ośrodek ciała wprowadzone w ruch będzie samo przez się w tym ruchu pozostawało. Buridan dodał do tego twierdzenie, wsparte refleksją nad jednostajnymi ruchami wirowymi sfer niebieskich (oczywiście chodzi o obraz świata z Księgi XII *Metafizyki* Arystotelesa), iż będzie to ruch jednostajny. Wobec tego siła zewnętrzna stawiała się czynnikiem zmieniającym ten ruch. Te bierne wnioski – Newton w cytowanym fragmencie nazywa je „prawami ruchu” – zaczęły później, w umysłach zwolenników kopernikanizmu, funkcjonować jako założenia czynne. Z nich, w wersji kartezjańskiej, oraz ze zdań o zjawiskach, Newton wyprowadził twierdzenia szczegółowe, takie jak (2.5), (2.7), (2.8), (2.9), (2.12). Mowa w nich już nie o zjawiskach, ale o siłach działających na ciała niebieskie – o czymś, czego w żaden sposób zobaczyć się nie da, a co niejako kazał mu widzieć przejęty od innych styl myślenia. A potem, już zgodnie z cytowaną uwagą, uogólnił te szczegółowe twierdzenia indukcyjnie – i sformułował prawo grawitacji (2.13).

Podsumowując, prawo grawitacji zostało nie *wymyślane*, lecz *wywnioskowane*. Jego autorem był nie tyle Newton, co kolektyw myślowy, który systematycznie pracując przez dziesięciolecia, wypracował ten zespół założeń czynnych i zgromadził ten zbiór twierdzeń biernych, jakie były konieczne i wystarczające do wyprowadzenia w szeregu przypadków równań określających wartości sił grawitacji. Ich indukcyjne uogólnienie na dowolne pary ciał było sprawą trywialną. Samo wyprowadzenie wzorów wymagało wybitnego talentu matematycznego, niemniej autorstwo akurat Newtona jest wynikiem zbiegu okoliczności.

## BIBLIOGRAFIA

- Descartes, René (ok. 1633), *Le Monde ou Traité de la Lumière*. Wyd. pol. *Świat albo Traktat o świetle*, przeł. T. Śliwiński, Kraków: Aureus 2005, rozdz. VII.
- Fleck, Ludwik (1935), *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*, Bruno Schwabe und Co. Wyd. pol. *Powstanie i rozwój faktu naukowego. Wprowadzenie do nauki o stylu myślowym i kolektywie myślowym*, przeł. M. Tuskiewicz, Lublin: Wydawnictwo Lubelskie 1986.
- Fleck, Ludwik (1935), „O obserwacji naukowej i postrzeganiu w ogóle”, *Przegląd Filozoficzny* 38, s. 57–76.

- Fleck, Ludwik (1936), „Zagadnienie teorii poznawania”, *Przegląd Filozoficzny* 39 (1936) s. 3–37.
- Fleck, Ludwik (2006), *Psychosocjologia poznania naukowego. Powstanie i rozwój faktu naukowego oraz inne pisma z filozofii poznania*, Z. Cackowski, S. Symotiuk (wyd.), Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Hanson, Norwood R. (1958), *Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hempel, Carl G. (1961), *Philosophy of Natural Science*, Prentice Hall. Wyd. pol. *Filozofia nauk przyrodniczych*, przeł. B. Stanosz, Warszawa: Wyd. Nauk.-Techn. 1968.
- Newton, Isaac (1846), *The Mathematical Principles of Natural Philosophy by Sir Isaac Newton*, przeł. Andrew Motte, New York: Daniel Adee.
- Popper, Karl R. (1934), *Logik der Forschung*, Springer Verlag. Wyd. pol. *Logika odkrycia naukowego*, przeł. U. Niklas, Warszawa: PWN 1977.
- Popper, Karl R. (1957), „The Aim of Science”, *Ratio* 1, s. 24–35. Wyd. pol. „Cel nauki”, w: tenże, *Wiedza obiektywna. Ewolucyjna teoria epistemologiczna*, przeł. A. Chmielewski, Warszawa: Wyd. Nauk. PWN 1992, 250–265.
- Sady, Wojciech (1990), *Racjonalna rekonstrukcja odkryć naukowych*, Lublin: Wyd. UMCS.
- Sady, Wojciech (2000), *Fleck o społecznej naturze poznania*, Warszawa: Prószyński i S-ka.
- Sady, Wojciech (2005), „Discovery of the Law of Gravitation from the Logical Point of View”, *Logic and Logical Philosophy* No. 14, s. 25–35.
- Wróblewski, Andrzej Kajetan (2006), *Historia fizyki od czasów najdawniejszych do współczesności*, Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.

## SUMMARY

Logical empiricists, Popper and Lakatos claimed that making science consists in inventing and verifying hypotheses and theories. The process of inventing hypotheses was to remain outside the reach of logical analysis. Procedures of empirical testing, which resulted in taking the *rational* decision to accept or reject or modify a hypothesis were to be logically reconstructed. Contrary to the image Isaac Newton argued that hypotheses “have no place in [science]. In [science] particular propositions are inferred from the phenomena, and afterwards rendered general by induction. Thus it was that [...] the laws of motion and of gravitation were discovered” (1713).

From the standpoint of Ludwik Fleck’s theory of thought collectives and thought styles, Newton was wrong, but not quite. The law of gravity was in fact deduced, and the process of deduction can be logically reconstructed. But Newton’s premisses were not phenomena alone: these were sentences describing the phenomena and active assumptions of the thought style that Newton – not being aware of it – inherited from the thought collective he belonged to.