

ROBERT PIOTROWSKI



Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

DEMON MAXWELLA

DZIEJE I FILOZOFIA PEWNEGO
EKSPERYMENTU

DIALOG



ROBERT PIOTROWSKI

Demon Maxwella

Dzieje i filozofia pewnego eksperymentu

Wydanie drugie poprawione

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Wydawnictwo Akademickie



Demon Maxwella Dzieje i filozofia pewnego eksperymentu

Spis treści

- Okladka
- Karta tytułowa
- Karta redakcyjna
- O autorze
- Dedykacja
- Motto
- Wstęp
- 1 Problem eksperymentu myślowego
 - I. Pojęcie eksperymentu myślowego
 - II. Przykłady
 - III. Główne zagadnienia filozoficzne
- 2 Termodynamika, modernizm i demon Maxwella
 - I. Nowa nauka
 - II. Słowa–klucze
 - III. Oryginalny eksperyment myślowy
- 3 Spór o demona w fizyce. I Od Thomsona do Smoluchowskiego
 - I. Thomson
 - II. Od Poincarégo do Svedberga
 - III. Smoluchowski
- 4 Spór o demona w fizyce. II Od Szilárda do współczesności
 - I. Od Szilárda do Brillouina
 - II. Landauer, Penrose, Bennett
 - III. Nowe perspektywy
- 5 Demon Maxwella w biologii i chemii
 - I. Biologia a termodynamika
 - II. Od alegorii do nanomaszyn
- 6 Demon Maxwella w humanistyce i ekonomii
- 7 Zakończenie
 - I. Zestawienie rozwiązań
 - II. Transformacja demona Maxwella z mechanizmu w proces obliczeniowy
 - III. Demon Maxwella w fizyce i poza fizyką
- Aneks 1 James Clerk Maxwell *Fragmenty demonologiczne*
- Aneks 2 O Maxwellu
 - I. Życie
 - II. Twórczość
 - III. Znaczenie
 - IV. Religijność

V. Filozofia

Aneks 3 Termodynamika

I. Termodynamika fenomenologiczna

1. Określenie termodynamiki fenomenologicznej
2. Podstawowe pojęcia i zasady
3. Silnik Carnota
4. Potencjały termodynamiczne
5. Relacje fundamentalne
6. O śmierci cieplnej

II. Termodynamika statystyczna

1. Określenie termodynamiki statystycznej
2. Podstawowe pojęcia i prawidłowości

Aneks 4 Informacja

I. Określenia wstępne i taksonomia definicji

II. Koncepcja Shannon

III. Określenia algorytmiczne

Summary

Bibliografia

Skorowidz nazwisk

O wydawnictwie

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

© 2011, 2013 by Robert Piotrowski & Wydawnictwo Akademickie DIALOG

Wydanie elektroniczne Warszawa 2014
All rights reserved. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Recenzent
prof. dr hab. Tomasz Bulik

Redakcja
Joanna Gil-Siemńska
Projekt okładki
Agnieszka Pietrzykowska
Skład tomu
Robert Piotrowski

ISBN ePub: 978-83-63778-75-0

ISBN mobi: 978-83-63778-76-7

Wydawnictwo Akademickie DIALOG
00-112 Warszawa, ul. Bagno 3/218
tel./ faks: 22 620 87 03
e-mail: redakcja@wydawnictwodialog.pl
www.wydawnictwodialog.pl



Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Plik ePub przygotowała firma eLib.pl
al. Szucha 8, 00-582 Warszawa
e-mail: kontakt@elib.pl
www.eLib.pl



Wydawnictwo Dialog (c) Copyright edycja elektroniczna
James Clerk Maxwell
gawiura G. J. Stodarta

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Wstęp

Demon Maxwella (ang. *Maxwell's demon*) okazał się jednym z najciekawszych eksperymentów myślowych w historii fizyki, co uzasadnia przedstawienie jego aspektów filozoficznych. Zarówno oryginalna wersja tego eksperymentu, jak i jego późniejsze modyfikacje zostaną szczegółowo opisane w następnych rozdziałach, tymczasem wystarczy powiedzieć, iż jego sedno polega na wyobrażeniu sobie czynnika (mechanizmu lub istoty inteligentnej) działającego na poziomie molekularnym i zdolnego do sortowania molekuł gazu ze względu na kierunek lub prędkość ich poruszania się. Wynikiem działania takiego demona miałyby być posortowanie molekuł tak, by powstała różnica temperatur lub ciśnień między dwoma częściami naczynia wypełnionego gazem znajdującym się początkowo w stanie równowagi termodynamicznej. Byłoby to sprzeczne z II zasadą termodynamiki, przez co pojawiłby się — nie jedyny — paradoks sięgający podstaw tej dziedziny fizyki.

Praca składa się z tekstu zasadniczego i uzupełnień. Tekst zasadniczy zaczynamy od wskazania filozoficznych aspektów eksperymentu myślowego (rozd. 1). Następnie przedstawiamy oryginalne sformułowanie demona Maxwella (rozd. 2) na tle zmian, które zaszły w fizyce XIX w., ze szczególnym uwzględnieniem problemu degradacji energii, który z kolei pojawił się przy okazji powstania termodynamiki.

Następnie referujemy spor o demona w fizyce już po Maxwelle, mianowicie: fazę „mechaniczną” (od Kelvina do Smoluchowskiego, rozdz. 3) oraz „informacyjną” (rozd. 4). Ta druga dzieli się na dwie części, odpowiadającą klasycznej teorii informacji (od Szilárda do Brillouina) i odpowiadającą współczesnej teorii obliczeń (od Landauera do Bennetta), którą można by nazwać *komputeryzacją* demona. Porównując objętość rozdziałów 3 i 4, widać, że więcej miejsca poświęciliśmy drugiej (informacyjnej) części biografii demona, co tłumaczy się po prostu większą liczbą istotnych koncepcji, które pojawiły się w tym drugim okresie. Jeżeli skrupulatnie ważyć takie proporcje, to okres informacyjny zasługiwałby może na jeszcze dokładniejsze potraktowanie, lecz musieliśmy uwzględnić ograniczoną objętość książki, oraz fakt, że okres mechaniczny, uboższy wprawdzie w nowe koncepcje, przyniósł kilka interesujących, a mniej znanych pomysłów.

W rozdziale 5 przedstawiamy nawiązania do demona w innych działach przyrodoznawstwa, szczególnie w biologii (nieprzypadkowo na wzór demona Maxwella pojawiły się demony Mendla i Darwina) oraz rzeczywiste układy przypominające demona. Dodajemy (rozd. 6) przegląd nawiązań do demona w humanistyce, ekonomii i sztuce, zaczynając od chybionej, acz pouczającej koncepcji historii termodynamicznej według Henry’ego Adamsa. W zakończeniu wracamy do historii rozwiązań paradoksu na gruncie fizyki. Najpierw porównujemy główne rozwiązania, tak z punktu widzenia składowych sytuacji doświadczalnej stanowiących punkt ciężkości kolejnych analiz, jak i samych metod wykazania niemożliwości skonstruowania demona. Następnie wskazujemy na stopniową zmianę perspektywy — od podejścia czysto mechanicznego do pojmowania demona jako (kwantowo-)mechanicznego procesu obliczeniowego. Powracając do kwestii eksperymentu myślowego poruszonej w rozdz. 1, próbujemy odpowiedzieć na pytanie, czy demon Maxwella okazał się udanym eksperymentem myślowym.

Aneksy zawierają przede wszystkim tłumaczenie oryginalnych tekstów Maxwella i notę o nim samym, uwzględniającą jego znaczenie dla rozwoju fizyki i zarys poglądów filozoficznych. W Aneksie 3. przedstawiamy zasadnicze pojęcia termodynamiki fenomenologicznej i fizyki statystycznej. W Aneksie 4 analogicznie wyjaśniamy główne definicje informacji. Dwa ostatnie aneksy mogą wydawać się nieproporcjonalnie spore, a wręcz zbędne wobec istnienia wielu dobrych podręczników, które zresztą sami wskazujemy. Te ostatnie są jednak w większości dość zaawansowane matematycznie, natomiast treść aneksów mogliśmy dostosować do zamiaru ułatwienia niefizykom czytania książki. W końcu C.P. Snow wybrał właśnie znajomość drugiej zasady termodynamiki jako dosadny przykład różnicy dzielącej kulturę opartą na przyrodoznawstwie od kultury „humanistycznej”, ufundowanej na literaturze^[1]. Chcieliśmy też wyeliminować z tekstu głównego — i tak obciążonego znaczną liczbą niezbędnych przypisów historycznych — wyjaśnienia skądinąd drobnych, niekiedy istotnych, a niekiedy tylko antykwarycznych kwestii, na przykład: czemu jeden bit informacji w temperaturze T ma odpowiadać akurat $kT \ln 2$ dżuli, albo: dlaczego reguła faz podana przez rzeczonoego Adamsa nijak się ma do reguły faz w termodynamice.

Mając do wyboru jeszcze sporządzenie jakiegoś słowniczka czy listy podstawowych pojęć fizycznych i informatycznych, woleliśmy jednak systematycznie zarysować główne idee dwóch dziedzin fizyki, na styku których ulokowany jest demon Maxwella. Mogliśmy jednocześnie dać pewne pojęcie o strukturze tych nauk i charakterze związku, jaki zachodzi między nimi. To samo tyczy się teorii informacji: jak już zaznaczyliśmy, kolejne koncepcje demona ewoluowały właśnie w kierunku procesu obliczeniowego, co bezpośrednio wiąże się z teorią informacji.

Główne zadanie, jakie sobie postawiliśmy, tj. przedstawienie historii idei demona Maxwella, nasza książka — mamy nadzieję — spełnia jako całość. Należy pamiętać, że demon niejednokrotnie okazywał się problemem wiodącym. Znaczy to, że w omawianych dziedzinach pojawiały się inne, nierzadko daleko ważniejsze kwestie, w tym zagadnienie nieodwracalności, stosowalności zasad termodynamiki fenomenologicznej, informacji, a wreszcie związku termodynamiki z biologią i psychologią. Część z nich wystąpiła już po Maxwelle, toteż dla filozofa interesujące są trwające przez półtora wieku, przeto długotrwałe (szczególnie w skali tempa rozwoju fizyki) przemiany tła intelektualnego, na którym pojawiały się kolejne rozwiązania owego paradoksu. Rzecz jasna nie wszystkie ze wspomnianych kwestii zostały rozwiązane, toteż nie tylko fizyczna, ale i filozoficzna historia demona nie znalazła jeszcze zakończenia.

Zagadnienie demona Maxwella opracowujemy w sposób analityczno-historyczny, przedstawiając kolejne ujęcia tego eksperymentu myślowego. Jak zwykle w takich przypadkach dobrze znany jest punkt wyjścia, czyli oryginalne sformułowanie Maxwella, i punkt dojścia, czyli wersje współczesne. Oryginalne sformułowanie powstało w trakcie sporów wokół zakresu obowiązywania praw kształtującej się jeszcze termodynamiki fenomenologicznej i dopiero powstającej termodynamiki statystycznej. Wersje dzisiejsze formułowane są na tle przeważającego poglądu, iż fizykalna doktryna informacji powiązana z teorią prawdopodobieństwa i mechaniką statystyczną umożliwia definitywne rozwiązanie paradoksu. Można zapytać, czy z historyczno-filozoficznego punktu widzenia uzasadnione jest przedstawienie drogi między punktem wyjścia a punktem dojścia. Naszym zdaniem, niekoniecznie podzielanym przez fizyków^[2] — tak.

Ten główny cel pracy dopełniają jeszcze dwa. Pierwszy z nich jest filozoficzny: próbujemy podać ocenę dotychczasowego statusu demona Maxwella według zestawu ogólnie przyjętych charakterystyk eksperymentu myślowego, które przedstawiamy w rozdz. 1.III. Przy okazji na konkretnym — choć może nietypowym, skoro eksperymenty myślowe najliczniej występują w teorii względności i mechanice kwantowej — przykładzie afirmujemy znaczenie tego narzędzia w naukach ścisłych. Tym

razem wbrew zastrzeżeniom filozofów: *modus operandi* fizyków ma jednoznaczną wymowę.

Drugi, cel interdyscyplinarny, polega na przedstawieniu oddziaływania eksperymentu myślowego sformułowanego na gruncie fizyki w innych dziedzinach, szczególnie w biologii i humanistyce z uwzględnieniem ekonomii, bliższej wszak naukom społecznym, określanym w nomenklaturze amerykańskiej jako „miękkie” (*soft*) czyli niezmatematyzowane, niżli ścisłym (*hard*). Stawiamy tezę, iż mamy do czynienia raczej z przypadkiem chętniej, choć niekoniecznie udolnej absorpcji motywów fizycznych przez reprezentantów innych nauk, niżli z ekspansją fizykalizmu przeprowadzaną wysiłkiem samych fizyków. Co więcej, w miarę oddalania się od fizyki motyw demona ulega dekonkretyzacji.

Niniejsza praca stanowi pierwszą polską monografię demona. W literaturze zagranicznej najważniejszą pozycją jest ok. 500-stronicowa antologia pod redakcją Harveya S. Leffa i Andrew F. Rexa wydana dwukrotnie jako *Maxwell's Demon* a potem *Maxwell's Demon 2*^[3]. Komentarz redaktorów ogranicza się do niecałych 40 stron wstępu. Natomiast za najistotniejsze pojedyncze opracowanie fizycznego aspektu idei demona przez filozofów uznajemy dwuczęściowy artykuł Johna Earmana i Johna D. Nortona „The Exorcist XVI”^[4].

Bibliografia demona znacznie wzrosła od drugiej połowy ubiegłego stulecia, w *Maxwell's Demon 2* liczy niemal 450 pozycji za lata 1871–2002. Leff & Rex wybrali z niej 31 tekstów, dzieląc swoją antologię wprawdzie nie chronologicznie, a merytorycznie, lecz i tak tylko trzy z wybranych przez nich prac dotyczą okresu mechanicznego^[5]. Z tych ostatnich jedna pochodzi od Williama Thomsona, dwie to artykuły Edwarda Dauba i Martina Kleina z lat 70. XX w.^[6] Tylko w jednej pracy pisze się więcej o związkach demona z biologią^[7]. Ponadto Leff & Rex uwzględnili wyłącznie pozycje oryginalnie wydane po angielsku^[8], pomijając choćby artykuły Mariana Smoluchowskiego. To wszystko było dla nas dodatkowym powodem, aby poświęcić więcej miejsca okresowi mechanicznemu.

Skróty użyte do cytowań wyjaśniono na początku bibliografii.

Za pomoc okazaną przy pisaniu niniejszej książki dziękuję przede wszystkim prof. Liliannie Kiejzik i prof. Kazimierzowi Jodkowskiemu. Niezawodnego wsparcia edytorskiego udzieliło jak zwykle Wydawnictwo Akademickie Dialog w osobach prof. Anny Parzymiesowej i pani Joanny Siemińskiej. W różnych fazach pisania książki czytali ją i dzielili się uwagami profesorowie Stanisław Butryn, Mirosław Dakowski, Krzysztof Kilian, Andrzej Łukasik, Józef Misiek, Zenon Roskał, Michał Tempczyk, Jarosław Włodarczyk i (*last but not least*) Józef Zon.

W zbieraniu materiałów do książki pomogli: prof. Luis Eugenio Andrade, dr Claus Beisbart, prof. Jordi Cat, dr Davide Mazza, dr Brian Pitts, dr Darrell P. Rowbottom, dr Viola Schiaffonati, prof. Zbigniew Lewicki oraz pani Aleksandra Wolska z Biblioteki IF UAM. Szczególne podziękowania należą się pani Marii Urbaniak i jej koleżankom z Biblioteki IFT UW.

Uwaga do wydania drugiego

W wydaniu 2. skorygowano zauważone błędy literowe i stylistyczne, oraz dokonano drobnych zmian.

^[1] Charles Percy Snow *The Two Cultures and the Scientific Revolution*, CUP, Cambridge 1960, s. 15–16.

^[2] Na przykład Ingo Müller kwituje sprawę demona następująco: „Pozostawimy tę kwestę tak szybko, jak to możliwe. Zalatuje banalnością.”; *A History of Thermodynamics: The Doctrine of Energy and Entropy*, Springer, Berlin 2007, s. 108.

[3] Harvey S. Leff et al. (red.) *Maxwell's Demon: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing*, PUP, Princeton 1990; *idem* et al. (red.) *Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing*, Institute of Physics Publishing, Bristol 2003. Leff & Rex opublikowali wcześniej wstępną bibliografię demona: „Resource Letter MD-1: Maxwell's Demon”, *AJP*, vol. 58, no. 3 (March 1990), s. 201–209.

[4] John Earman et al. „Exorcist XIV: The Wrath of Maxwell's Demon. Part I. From Maxwell to Szilard”, *Stud. Hist. Phil. Sci. B*, vol. 29, no. 4 (Dec. 1998), s. 435–471; „Exorcist XIV: The Wrath of Maxwell's Demon. Part II. From Szilard to Landauer and Beyond”, *Stud. Hist. Phil. Sci. B*, vol. 30, no. 1 (March 1999), s. 1–40.

[5] Fragmenty pochodzące od samego Maxwella zostały włączone do przeglądu zagadnienia w rozdz. 1.

[6] Edward E. Daub „Maxwell's Demon”, *Stud. Hist. Phil. Sci.*, vol. 1 (1970), s. 213–227; Martin J. Klein „Maxwell, His Demon, and the Second Law of Thermodynamics”, *Am. Sci.*, vol. 58, no. 1 (Jan.–Feb. 1970), s. 84–97.

[7] Przedruk artykułu Leona Brillouina „Life, Thermodynamics, and Cybernetics”, *American Scientist*, vol. 37, no. 5 (Sept.–Oct. 1949), s. 554–68.

[8] Z jednym wyjątkiem: pracy Leó Szilárda „Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen”, *Zeitschr. Phys.*, Bd. 53, no. 11–12 (Nov. 1929), s. 840–856. Została wydana w Ameryce jako „On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings”, tłum. Anatol Rapoport et al., *Behavioral Science*, vol. 9, no. 4 (Oct. 1964), s. 301–310.

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Problem eksperymentu myślowego

I. Pojęcie eksperymentu myślowego

Eksperyment myślowy definiuje się jako myślowy projekt doświadczenia, niezależny od praktycznej wykonalności tegoż. Zwięźlejszym określeniem jest Machowskie „myślowe zmienianie faktów” (*Variation der Tatsachen in Gedanken*)^[9]. Odpowiedni termin^[10] wprowadził Ørsted^[11], najpierw w wersji duńskiej (*tankeeksperiment*)^[12], potem niemieckiej^[13]: *Gedankenversuch* lub *Gedankenexperiment*^[14]. Jako *mental experiment*^[15], *imaginary experiment*^[16], lub *experimental idea*^[17] pojawia się w przekładzie angielskim *Der Geist in der Natur* Ørsteda. Przypisywanie tego neologizmu Lichtenbergowi^[18] jest według historyków nieporozumieniem, bo ów pisał tylko w jednym z aforyzmów o „eksperymentowaniu z myślami”, a mianowicie:

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Ileż to w mojej głowie kołacze się rozproszonych idei, z których niejedna para, gdyby się tylko zesza, doprowadzić by mogła do wielkiego odkrycia. Ale są oddzielone (...). Chciałoby się mieć tu coś podobnego do roztworu w chemii, w którym poszczególne cząstki unoszą się swobodnie, toteż mogą podlegać dowolnym ruchom. Skoro tak się nie da, to musimy te rzeczy łączyć umyślnie. Z ideami trzeba *eksperymentować*.

Wygodnym środkiem eksperymentowania z myślami jest stawianie pytań o pojedyncze rzeczy np. o szklanki, sposoby ich ulepszania, wykorzystywanie do innych celów itd., o najmniejsze drobiazgi^[19].

Inna sprawa, czy Ørsted zasłużył się jakoś dla praktyki i teorii eksperymentu myślowego jako procedury badawczej. Opis jego własnych doświadczeń myślowych^[20] odkładamy do zamieszczonego w ciągu dalszym przeglądu przykładowych eksperymentów; poniżej przedstawiamy też dla porządku pogląd Ørsteda na istotę omawianej procedury — Ørsted nie znalazł kontynuatorów, o czym świadczy choćby fakt, iż historię *filozofii* eksperymentu myślowego zaczyna się z reguły dopiero od Macha^[21]. Wydaje się jednak, że właściwym punktem wyjścia, co podkreślają szczególnie autorzy niemieccy^[22], jest Kant, piszący o „eksperymentach czystego rozumu”^[23].

Doświadczenia myślowe mają bogatą bibliografię, tak historyczną, jak i merytoryczną^[24]. W obu aspektach najsolidniejszą monografią wydaje się cytowana już książka Kühnego. Pojęcie eksperymentu myślowego jest oczywiście rozmyte, i bynajmniej nie ogranicza się do dziedziny filozofii, nauki czy techniki. Właściwie każde wyobrażenie typu „co by to było, gdyby zrobić to a to...” można zakwalifikować jako eksperyment myślowy. W potocznym dyskursie etycznym, pedagogicznym i politycznym spotykamy np. argumenty typu równi pochyłej (*slippery slope*), wedle schematu „Gdyby pozwolić na ..., to niedługo ...” — „Gdyby przymykać oko na drobne kradzieże, to

wrychle wszelkie złodziejstwo stałoby się bezkarne”. Zasadna jest wątpliwość, czy zbyt szerokie rozumienie doświadczenia myślowego nie pozbawia tego pojęcia teoretycznej użyteczności.

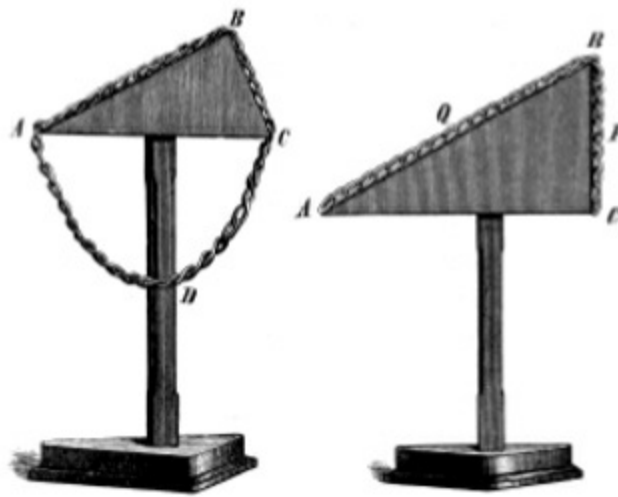
Eksperymenty myślowe bywają wstępem do planowania rzeczywistych doświadczeń, najczęściej nie zyskując rozgłosu, mogą też służyć ocenie logicznej istniejących teorii, dyrektyw i norm, szczególnie wtedy, kiedy ich wynik okaże się paradoksalny^[25]. W takim ujęciu stanowią rodzaj procedur heurystycznych, przez co liczyłyby się za prawomocne narzędzia badawcze i dydaktyczne — jeśli zadowolić się tym stwierdzeniem, to pozostawałaby tylko kwestia ich adekwatnej klasyfikacji. Z kolei rozważenie efektywności eksperymentów myślowych wymagałoby ustalenia kryteriów ich powodzenia. Na tym lista problemów upatrywanych przez poszczególnych filozofów w eksperymentach myślowych się nie kończy. Już dzięki samej obecności „eksperymentu” w nazwie zyskuje on konotację nie tylko manipulacji, ale i niepewności co do wyniku. Tymczasem dane doświadczenia myślowego powinny być ogólnie znane i uznane, zatem wątpliwe, czy jego wynik może być istotnie nowy. Podejrzewać można, iż taka nowość wyniknie raczej ze zręczności spekulatywnej „eksperymentatora”, co znowuż świadczy, iż legitymizacji eksperymentu myślowego nie da się przeprowadzić na samej podstawie zaliczenia go do środków heurystycznych.

II. Przykłady

Zanim omówimy filozoficzną problematykę eksperymentów myślowych, podamy jego przykłady, zaczerpnięte w większości z fizyki. Wybraliśmy te najpopularniejsze, niektóre z nich przydadzą się nam w dalszym ciągu.

Podróż Keplera^[26] to opis fikcyjnej podróży na Księżyc podjętej przy pomocy demona. Kepler opisuje (mniej więcej prawidłowo) Ziemię widzianą przez mieszkańców Księżyca, można więc uznać jego utwór za eksperyment myślowy z dziedziny astronomii obserwacyjnej.

Równia Stevina^[27], ^[28] stanowi geometryczny dowód warunku równowagi sił na równi pochyłej przy pomocy „naszyjnika” oplatającego klin. Ma on charakter konstruktywny. Jednym z założeń eksperymentu jest rzecz jasna, intuicyjne przekonanie, iż naszyjnik się nie porusza — gdyby było odwrotnie, mielibyśmy *perpetuum mobile*.



Rys. 1.1. Równia Stevina [29]

Pochylnie Galileusza^[30] są ciągiem połączonych równi pochyłych. Równię prawą o stałym nachyleniu łączymy kolejno z równiami po lewej stronie o nachyleniu coraz to mniejszym. Przy braku tarcia ciało ześlizgujące się ze stałej wysokości po równi prawej, podniesie się na tę samą wysokość po każdej z równi lewych, choć oczywiście z powodu coraz mniejszych wartości bezwzględnych przyspieszeń pionowych kolejne, wznoszące części ruchu będą trwały coraz dłużej. W granicy lewa równia stanie się poziomą, a ruch po niej trwać będzie w nieskończoność z prędkością uzyskaną u podnóża równi prawej. Tak zresztą Galileusz dowodzi szczególnego przypadku zasady bezwładności.

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna



Rys. 1.2. Pochylnie Galileusza

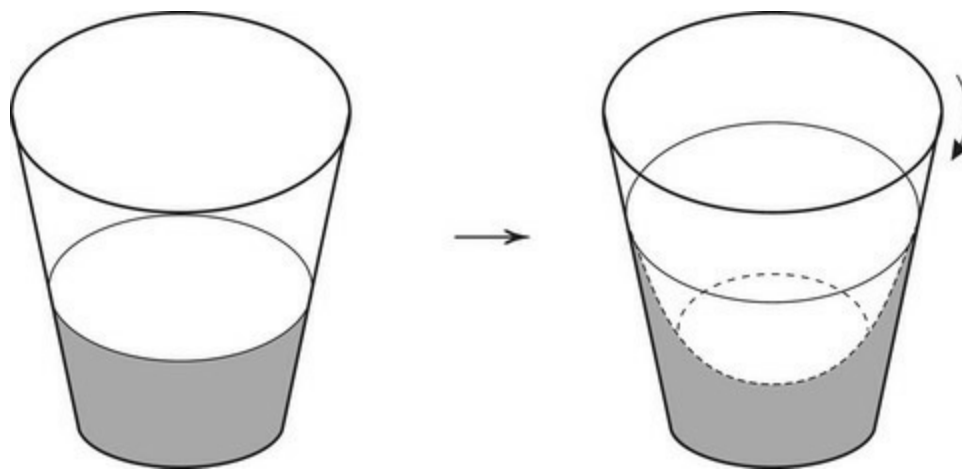
Kamienie Galileusza^[31]. Zrzuca się dwa złączone kamienie o różnym ciężarze. Wedle Arystotelesa lżejszy kamień spada wolniej od cięższego, zatem pierwszy powinien spowalniać ruch drugiego. Jednak połączone kamienie są cięższe od każdego z osobna, przeto razem winny spadać jeszcze szybciej. Ze sprzeczności wychodzi się uznając, że prędkość spadania nie zależy od ciężaru kamienia. Odpowiada temu eksperyment rzeczywisty^[32].

Młyn Leibniza^[33] to inspekcja wnętrza odpowiednio dużej maszyny myślącej, np. o rozmiarach młyna. Obserwator nie zauważy żadnych procesów psychicznych, tylko części mechaniczne i ich ruchy. Ma to być argument przeciwko sprowadzalności postrzeżeń do procesów w układach mechanicznych, a za tym, iż postrzeżenia i ich zmiany można znaleźć tylko w substancji prostej. Leibniz rzecz jasna sugeruje, iż podobny rezultat, co wizyta w myślącym młynie, miałyby mikroskopowa obserwacja mózgu.

W niszczącym okręcie Tezeusza^[34] wymienia się po kolei wszystkie elementy konstrukcji. Czy jest to wciąż ten sam przedmiot?

Wiadro Newtona^[35] jest łatwym eksperymentem rzeczywistym, który Newton pewnie wykonał sam. Uwzględnia się go jednak w dyskusjach o eksperymentach myślowych ze względu na modyfikacje, mające już spekulatywny charakter, a także znaczenie dla późniejszych rozważań teoretycznych o bezwładności i grawitacji. Samo doświadczenie polega na wprawieniu wiadra

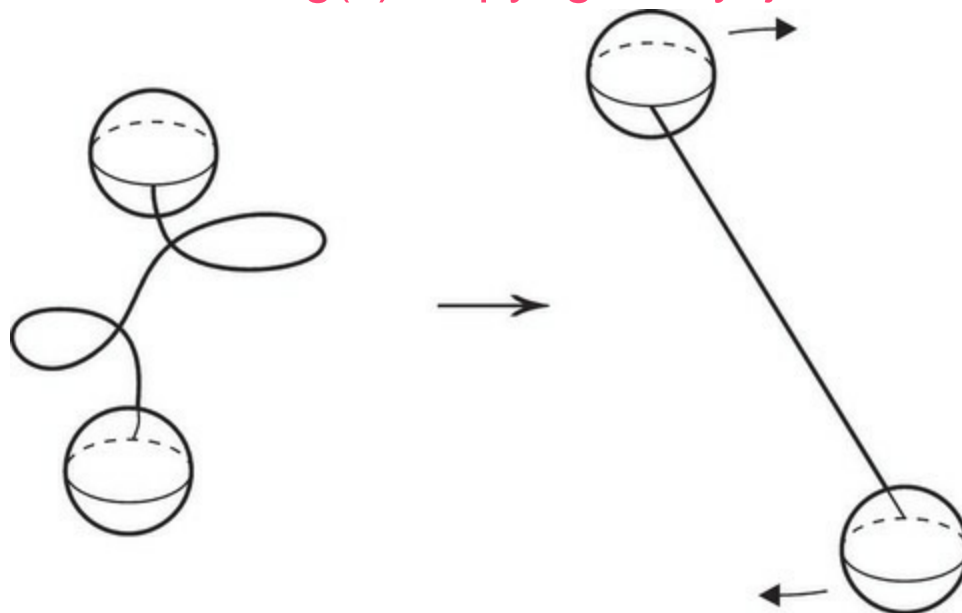
wypełnionego wodą w ruch obrotowy. W miarę przekazywania ruchu wodzie, jej powierzchnia będzie się stopniowo paraboloidalnie odkształcać i po pewnym czasie ciecz osiągnie stan równowagi, w którym jej powierzchnia będzie maksymalnie zdeformowana. Teraz wyobraźmy sobie, iż wiadro znajduje się w pustej przestrzeni, a więc nie można stwierdzić jego ruchu względem jakiegokolwiek ciała zewnętrznego. Według Newtona ma to dowodzić bezwzględnego obrotu wiadra, przeto istnienia układu odniesienia dla takiego ruchu, a mianowicie przestrzeni absolutnej. Jak widać, w pierwotnej wersji był to eksperyment konstruktywny.



Rys. 1.3. Wiadro Newtona

Kule Newtona^[36] to dwie kule połączone liną, znajdujące się w zupełnie pustej przestrzeni i wprawione w ruch obrotowy względem środka ciężkości układu. Według Newtona ich ruch dałoby się wykryć dzięki zmianie napięcia sznurka przy próbie przesunięcia którejś z kul.

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

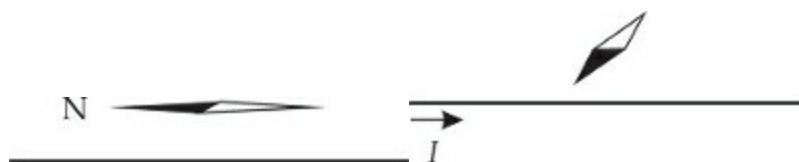


Rys. 1.4. Kule Newtona

Eksperymenty myślowe Ørsteda (α) z jakichś powodów autor ów upodobał sobie Jowisza; powracają u niego motywy: wymagowanej podróży tamże, wizyty Jowiszana na Ziemi lub spotkania naukowców z obu planet^[37]. Ørsted wnioskował, że Jowiszanie oraz mieszkańcy innych planet stwierdzaliby te same co my prawdy fizyczne i astronomiczne według tych samych zasad rozumowych, a nawet, że podlegaliby tym samym prawom moralnym^[38]. (β) Jeden eksperyment dotyczy geometrii: artysta nieznający formy sferycznej ma za zadanie wynaleźć bryłę o własnościach

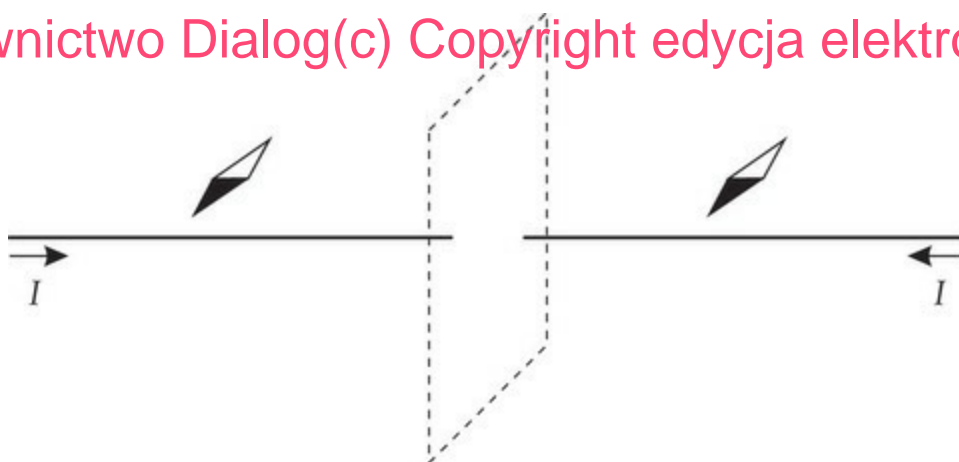
sfery [39]. (γ) Ørsted dowodził też względności podziału substancji na metale i niemetale przy pomocy fikcyjnego ochłodzenia Ziemi znacznie poniżej 0°C, tak by woda występowała wyłącznie jako głęboko zmrożony lód. Miałyby wtedy własności podobne do powszechnie występującego tlenku glinu. Skoro glin jest metalem, podobnie jak inne pierwiastki, których tlenki są rozpowszechnione na powierzchni ziemi (wapń, żelazo), to i wodór uznano by wtedy za metal [40]. (δ) Gdyby zmniejszyć jakąś oddaloną mgławicę do jej pozornych rozmiarów na niebie i przenieść na Ziemię, wtedy odległości między jej gwiazdami byłyby jak pory w ciałach ziemskich, a ich ruchy wyraziłyby się przez własności fizykochemiczne [41]. Samo sformułowanie tych eksperymentów przyczyniło się zresztą mimochodem do ożywienia debaty w kwestii życia pozaziemskiego [42].

Symetria zjawisk elektromagnetycznych Na podstawie symetrii praw fizyki względem odbić należy przewidzieć kierunek odchylenia igły po zmianie kierunku prądu. Jest to przykład dydaktycznego eksperymentu myślowego sformułowanego *po* odpowiednim doświadczeniu rzeczywistym. To ostatnie, wykonane skądinąd przypadkowo przez Ørsteda w r. 1820, legło, jak wiadomo, u podstaw nauki o elektromagnetyzmie: podczas wykładu uczoney przepuścił prąd przez drut znajdujący się w pobliżu igły magnetycznej.



Rys. 1.5a. Eksperyment Ørsteda. Prąd płynący z lewa na prawo generuje pole magnetyczne wokół drutu, o czym świadczy odchylenie bieguna północnego igły w stronę przewodu.

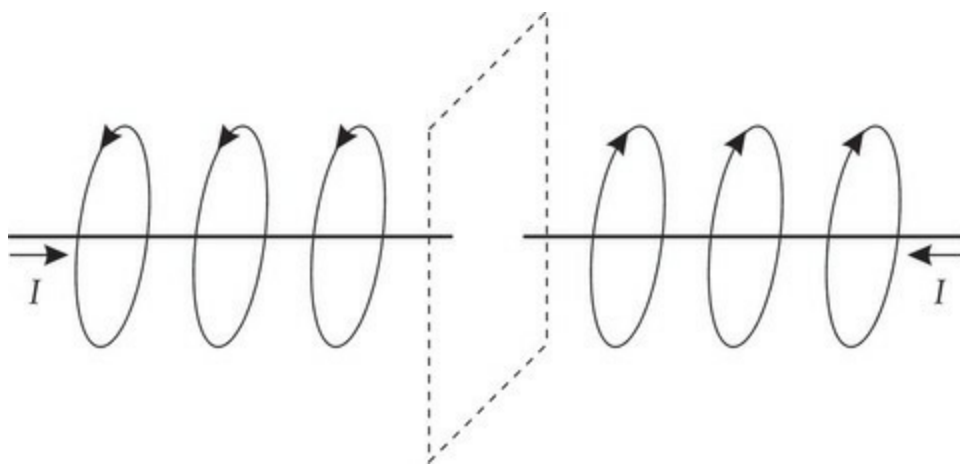
Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna



Rys. 1.5b. Odwrócenie kierunku prądu odpowiada odbiciu zwierciadlanemu układu w płaszczyźnie prostopadłej do drutu, zdaje się przeto, że odchylenie igły nie powinno się zmienić, skoro prawa fizyki są niezmiennicze względem odbić...



Rys. 1.5c. ... atoli biegun północny igły obraca się w lewo.



Rys. 1.5d. Sprawę wyjaśnia [43] uwzględnienie związku konfiguracji pola magnetycznego wokół liniowego przewodnika z kierunkiem prądu: odbicie zwierciadlane odwracając kierunek prądu, odwraca też wir powstającego pola.

Ciąg dalszy w wersji pełnej

III. Główne zagadnienia filozoficzne

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

[9] Ernst Mach „Über Gedankenexperimente”, (w:) *Erkenntniss und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung*, J.A. Barth, Lipsk 1906, s. 188.

[10] Na temat historii terminu: J. Witt-Hansen „H.C. Ørsted, Immanuel Kant and the Thought Experiment”, *Danish Yearbook of Philosophy*, vol. 13 (1976), s. 48–65; Ulrich J. Kühne „Gedankenexperiment und Erklärung”, *Bremer Philosophica*, vol. 1997, no. 5, s. 1–51; *idem Die Methode des Gedankenexperiments*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M 2005; Daniel Cohnitz „Ørsteds „Gedankenexperiment“: eine Kantianische Fundierung der Infinitesimalrechnung? Ein Beitrag zur Begriffsgeschichte von ‘Gedankenexperiment’ und zur Mathematikgeschichte des frühen 19. Jahrhunderts”, *Kant-Studien*, Jg. 99, H. 4 (Dez. 2008), s. 407–433.

[11] Hans Christian Ørsted (1777–1851), duński chemik, fizyk i filozof.

[12] Hans Christian Ørsted *Forste Indledning til den almindelige Naturlære* [Prolegomena do przyrodoznawstwa ogólnego], J.S. Schultz, Kopenhaga 1811.

[13] Niemiecki przekład *Forste inledning*: „Ueber Geist und Studium der allgemeinen Naturlehre”, *Journal für Chemie und Physik*, Bd. 36 (1822), H. 4, s. 458–488; ostateczna wersja: „Ueber Geist und Studium der allgemeinen Naturlehre”, (w:) *Der Geist in der Natur*, Bd. 2, Literarisch-artistische Anstalt, Monachium 1851, s. 429–474.

[14] *Ibid.* s. 463. Patrz też Ørsteda „Aberglaube und Unglaube in ihrem Verhältniß zur Naturwissenschaft”, (w:) *Der Geist in der Natur*, Bd. 1, Literarisch-artistische Anstalt, Monachium 1850, s. 210–211 oraz „Das ganze Daseyn ein Vernunftreich”, *ibid.*, s. 226.

[15] Ørsted „Superstition and Infidelity in their Relation to Natural Science”, (w:) *The Soul in Nature, with Supplementary Contributions*, tłum. Leonora & Joanna B. Horner, Henry G. Bohn, Londyn 1852, s. 89; „Upon the Spirit and Study of Universal Natural Philosophy”, *ibid.*, s. 460.

[16] Hans Christian Ørsted „All Existence a Dominion of Reason”, *ibid.*, s. 95.

[17] *Idem* „Upon the Spirit and Study...”, s. 460.

[18] Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799), niemiecki fizyk i aforysta.

[19] Georg Christoph Lichtenberg *Sudelbuch* K II, 308.

[20] Tę kwestię szczegółowo opisuje Kühne: *Die Methode des Gedankenexperiments*, p. II.1.1.2.

[21] Ernst Mach „Über Gedankenexperimente”, *op. cit.*, s. 183–200. Kühne wskazuje nie tyle na odrzucenie poglądów Ørsteda przez późniejszych autorów, ile na ich nieznamość — *Die Methode des Gedankenexperiments*, s. 162; Faktycznie, po krótkim okresie popularności (w Anglii zakończył się on w latach 50. XIX w.) poglądami duńskiego uczonego przestano się interesować wobec zaniku wpływu *Naturphilosophie*.

[22] Np. Daniel Cohnitz „Ørsted's „Gedankenexperiment“: eine Kantianische Fundierung der Infinitesimalrechnung?”; Ulrich Kühne *Die Methode des Gedankenexperiments*, p. II.1.1.1.

[23] „(...) jeżeli po przyjęciu twierdzenia, że nasze poznanie doświadczalne dostosowuje się do przedmiotów jako do rzeczy samych w sobie, okaże się, że to, co nieuwarunkowane, nie da się wcale pomyśleć bez sprzeczności, że natomiast ta sprzeczność odpada po przyjęciu, iż nasze przedstawienia rzeczy [tak wziętych], jak nam są dane, nie dostosowuje się do tych rzeczy samych w sobie, lecz przeciwnie, że te przedmioty jako zjawiska dostosowują się raczej do naszego sposobu przedstawiania ich sobie, i że jeżeli w następstwie tego, co nieuwarunkowane, nie może się znajdować w rzeczach, o ile je znamy (o ile nam są dane), lecz z pewnością w tych rzeczach, o ile ich nie znamy, jako w rzeczach samych w sobie, to okazuje się, że uzasadnione jest to, co początkowo przyjęliśmy tylko dla próby.” — *Krytyka czystego rozumu*, B XXI, tłum. Ingardena. „Ten eksperyment czystego rozumu ma wiele podobieństwa do eksperymentu chemików, który oni nieraz nazywają eksperymentem redukcyjnym, na ogół zaś postępowaniem syntetycznym.” — *loc. cit.*, przypis. Aluzja do „chemików” odnosi się bezpośrednio do wzmiankowanych w poprzedzającym ustępie B XIII rozważaniach Georga Ernsta Stahla o „kalcynacji” metali w kontekście teorii flogistonowej.

[24] Por. James R. Brown *The Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences*, Routledge, Londyn 1993; *idem* et al. „Thought Experiments”, (w:) Edward N. Zalta (red.) *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2010, <http://plato.stanford.edu/entries/thought-experiment/>; *idem* „Why Thought Experiments Transcend Empiricism”, (w:) Christopher Hitchcock (red.) *Contemporary Debates in the Philosophy of Science*, Blackwell, Oksford 2004, s. 23–43; Martin Cohen, *Wittgenstein's Beetle and Other Classic Thought Experiments*, Blackwell Publ., Malden, Mass. 2005; Daniel Cohnitz *Gedankenexperimente in der Philosophie*, mentis, Paderborn 2006; *idem* et al. „Gedankenexperimente in der Philosophie”, (w:) Mireille Staschok (red.) *Abstrakt — Exakt — Obskur: Philosophische Gedankenexperimente & Kunst*, Logos, Berlin 2007; J.H.Y. Fehige „Das Gedankenexperiment — eine eigenständige Erkenntnismethode?”, <http://www.philosophie.uni-mainz.de/fehige/papers/gedankenexperimentSeitMach.pdf>; Pierre Duhem, *La théorie physique, son objet et sa structure*, Chevalier & Rivière, Paryż 1906; Hans-Ludwig Freese *Abenteuer im Kopf. Philosophische Gedankenexperimente*, wyd. 2, Quadriga, Weinheim 2005; Tamara Horowitz et al. (red.) *Thought Experiments in Science & Philosophy*, Rowman & Littlefield, Savage, Maryland 1991; Ierodiakonou, Katerina et al. (red.) *Thought*

Experiments in Methodological and Historical Contexts, Brill, Lejda 2011; Jacek Jadacki et al. „Eksperymenty myślowe w nauce”, *Filozofia Nauki*, r. XX (2012), nr 1(77), s. 5-32; Ulrich Kühne *Die Methode des Gedankenexperiments*, Suhrkamp, Frankfurt/M. 2005; Ernst Mach „Über Gedankenexperimente”, *op. cit.*; *idem Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*, wyd. 7, J.A. Brockhaus, Lipsk 1912, pkt. 1.2–3. i 2.5.; John Norton „Why Thought Experiments do not Transcend Empiricism”, (w:) Christopher Hitchcock (red.) *Contemporary Debates in the Philosophy of Science*, *op. cit.*, s. 44–66; Roy A. Sorensen *Thought Experiments*, OUP, Oksford 1992; Jacek Urbaniec „In Search of a Philosophical Experiment”, *Metaphilosophy*, vol. 19, no. 3–4 (July 1988), s. 294–306. Także niektóre artykuły ze zbioru pod red. M.C. Galavotti *Observation and Experiment in the Natural and Social Sciences*, Kluwer, Nowy Jork 2004: Miklós Rédei „Thinking About Thought Experiments in Physics Comment on “Experiments and Thought Experiments in Natural Science”” (s. 237–241); David Atkinson „Experiments and Thought Experiments in Natural Science” (s. 209–225); Michael Stöltzner, „The Dynamics of Thought Experiments: A Comment on David Atkinson”, s. 243–258.

[25] I tu narosła literatura, włączając w to słowniki paradoksów filozoficznych; np. Michael Clark *Paradoxes from A to Z*, Routledge, Londyn 2002; Gary L. Drescher *Good and Real: Demystifying Paradoxes from Physics to Ethics*, MIT Press, Cambridge, Mass. 2006; R.M. Sainsbury *Paradoxes*, wyd. 3, CUP, Cambridge 2009; R.A. Sorensen *A Brief History of the Paradox: Philosophy and the Labyrinths of the Mind*, OUP, Oksford 2003.

[26] Johannes Kepler *Sen, czyli wydane pośmiertnie dzieło poświęcone astronomii księżycowej*, tł. Dorota Sutkowska et al., Scholar, Warszawa 2004.

[27] Szymon Stevin (1548/9–1620), flamandzki inżynier i matematyk.

[28] Szymon Stevin *De Beghinselen der Weegheconst*, Christoffel Plantijn, Lejda 1586, s. 41. O eksperymencie z równią: Ernst Mach *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, s. 26–35. O pracach mechanicznych Stevina: Jozef T. Devreese et al. *‘Magic is No Magic’ The Wonderful World of Simon Stevin*, tłum. Lee Preedy, WIT Press, Ashurst 2008; rozdz. 6 „Wonder en is gheen wonder”, szczególnie s. 136–144.

[29] Reprodukacja: *ibid.*, s. 25 i 26.

[30] Galileo Galilei *Rozmowy i dowodzenia matematyczne w zakresie dwóch nowych umiejętności dotyczących mechaniki i ruchów miejscowych (r. 1638)*, tłum. Feliks Kucharzewski, Kasa im. Mianowskiego, Warszawa 1930; s. 157–158 (scholium do zagadnienia IX). Por. też *Dialog o dwu najważniejszych układach świata Ptolemeuszowym i Kopernikowym*, tłum. Edward Ligocki, PWN, Warszawa 1962, s. 22–28 i ogólne wyrażenie zasady bezwładności na s. 28.

[31] Galileo Galilei *Rozmowy i dowodzenia...*, *op. cit.*, s. 53–54.

[32] Historycy wątpią, czy Galileusz faktycznie zrzucił z krzywej wieży w Pizie kule o różnym ciężarze, co nie przeszkodziło, że w ankiecie przeprowadzonej wśród samych fizyków, ów domniemany eksperyment znalazł się na drugim miejscu wśród najpiękniejszych doświadczeń w historii fizyki; por. Robert P. Crease „The most beautiful experiment”, *Physics World*, vol. 15, no. 9 (Sept. 2002), s. 19–20; *idem* „The legend of the leaning tower”, *Physics World*, vol. 16, no. 2 (Feb. 2003), s. 15.

[33] Gottfried Wilhelm Leibniz *Zasady filozofii, czyli monadologia*, §17; tłum. Stanisław Cichowicz, (w:) *idem Wyznanie wiary filozofa*, PWN, Warszawa 1969.

[34] Odnotowany po raz pierwszy przez Plutarcha: *Thes.* XXIII.1 (wg Plutarcha był już dyskutowany w IV w. p. Chr.). Hobbes (*De Corpore*, II.11.7.) podaje pokrewny problem: gdyby

jednocześnie z wymianą części starego statku zbierać te już wymienione i odtwarzać z nich pierwotny statek, to który obiekt okazałby się „właściwym”?

[35] Izaak Newton „Scholium”, tłum. Alicja Michalik, *Zagadnienia filozoficzne w nauce*, t. VIII (1986), s. 88–98.

[36] *Ibid.* Nie należy tego mylić z wahadłem (kołyską) Newtona, po angielsku też *Newton's balls* albo *Newton's spheres*, zabawką służącą do demonstracji przekazu pędu między ciałami sprężystymi: podwiesza się kilka metalowych kulek, tak, by się kolejno stykały i mogły się wahać w jednej płaszczyźnie. Jeśli odchylić i puścić skrajną kulkę, to po jej uderzeniu w resztę odskoczy tylko przeciwna skrajna.

[37] Jest to chyba ślad okultystycznych zainteresowań duńskiego naukowca, co nie dziwi u reprezentanta *Naturphilosophie* i adepta sztuki królewskiej. Jowisz jest ezoterycznym symbolem dążenia do mądrości i rozumnego przewodnictwa.

[38] Por. dialog „Das Geistige im Körperlichen”, (w:) *Der Geist in der Natur*, Bd. 1, s. 34–39; także „Über das Verhältniß zwischen der Naturauffassung des Denkens und der Einbildungskraft”; *ibid.*, s. 119–121; „Das ganze Daseyn ein Vernunftreich”, *ibid.*, s. 226–237; dialog „Christenthum und Astronomie”, (w:) *Neue Beiträge zu dem Geist in der Natur*, tłum. Karl Ludwig Kannegiesser, Bd. 1, Carl B. Lorch, Lipsk 1851, s. 189–190.

[39] Hans Christian Ørsted „Aberglaube und Unglaube...”, s. 210–211.

[40] Hans Christian Ørsted *Ansicht der chemischen Naturgesetze durch die neueren Entdeckungen gewonnen*, Realschulbuchhandlung, Berlin 1812, s. 48–56. Autor nie mógł wiedzieć, że zestalony wodór faktycznie jest metalem.

[41] Hans Christian Ørsted List do Christiana Samuela Weissa z 30-I-1829 (w:) *Correspondance de H.C. Ørsted avec divers savants*, red. M.C. Harding, vol. I, H. Aschenhoug & Co., Kopenhaga 1920, s. 289. Weiss (1780–1856) był niemieckim krystalografem; korespondencja dotyczyła kontrowersji między atomizmem a pewną formą kontynualizmu, której trzymał się Ørsted. Ten sądził, podobnie jak Kartezjusz, iż materia jest zasadniczo nieograniczenie podzielna, tworząc jednak w pewnych skalach względnie trwałe zgęstki, które obserwowane w większej skali stanowią odpowiedniki atomów.

[42] Michael J. Crowe *The Extraterrestrial Life Debate, 1750–1900*, Dover, Nowy Jork 1999, s. 257.

[43] ... nie do końca. Czy kierunek linii pola magnetycznego wskazuje igła magnetyczna, czy też wyznaczymy go bezpośrednio na podstawie kierunku prądu — konfiguracja prawa ewidentnie *nie* stanowi doskonałego odbicia zwierciadlanego lewej. Czy można to wyjaśnić powołując się *tylko* na symetrię, nie uwzględniając związku przyczynowego między prądem a polem magnetycznym? Powód leży głębiej, wielkości charakterystyczne pola magnetycznego zachowują się pod wpływem odbić inaczej niż wielkości cechujące pole elektryczne. Por. np. Bernard Janczewski *Wielkości skierowane w elektrodynamice*, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 2000, rozdz. 1.

I. Nowa nauka

Dostępne w wersji pełnej

II. Słowa–klucze

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

III. Oryginalny eksperyment myślowy

Dostępne w wersji pełnej

3

Spór o demona w fizyce. I

Od Thomsona do Smoluchowskiego

I. Thomson

Dostępne w wersji pełnej

II. Od Poincarégo do Svedberga

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Dostępne w wersji pełnej

III. Smoluchowski

Dostępne w wersji pełnej

4

Spór o demona w fizyce. II

Od Szilárda do współczesności

I. Od Szilárda do Brillouina

Dostępne w wersji pełnej

II. Landauer, Penrose, Bennett

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Dostępne w wersji pełnej

III. Nowe perspektywy

Dostępne w wersji pełnej

Demon Maxwella w biologii i chemii

I. Biologia a termodynamika

Dostępne w wersji pełnej

II. Od alegorii do nanomaszyn

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

6

Demon Maxwella w humanistyce i ekonomii

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

I. Zestawienie rozwiązań

Dostępne w wersji pełnej

II. Transformacja demona Maxwella z mechanizmu w proces obliczeniowy

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna
Dostępne w wersji pełnej

III. Demon Maxwella w fizyce i poza fizyką

Dostępne w wersji pełnej

Aneks 1

James Clerk Maxwell

Fragmenty demonologiczne

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Aneks 2

O Maxwellu

I. Życie

Dostępne w wersji pełnej

II. Twórczość

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

III. Znaczenie

Dostępne w wersji pełnej

IV. Religijność^[44]

Dostępne w wersji pełnej

V. Filozofia^[45]

[44] W sprawie religijności Maxwella: Paul Theerman „James Clerk Maxwell and Religion”, *AJP*, vol. 54, no. 4 (Apr. 1986), s. 312–317; Philip L. Marston „Maxwell and Creation: Acceptance, Criticism, and His Anonymous Publication”, *AJP*, vol. 75, no. 8 (Aug. 2007), s. 731–740; Jerrold L. McNatt „James Clerk Maxwell’s Refusal to Join the Victoria Institute”, *Perspectives on Science and Christian Faith*, vol. 56, no. 3 (Sept. 2004), s. 204–215.

[45] Podstawowa monografia: Peter Harman *The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell*, *op. cit.*

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Aneks 3

Termodynamika

I. Termodynamika fenomenologiczna

1. Określenie termodynamiki fenomenologicznej

Dostępne w wersji pełnej

2. Podstawowe pojęcia i zasady

Dostępne w wersji pełnej

3. Silnik Carnota

Dostępne w wersji pełnej

4. Potencjały termodynamiczne

Dostępne w wersji pełnej

5. Relacje fundamentalne

Dostępne w wersji pełnej

6. O śmierci ciepłej

Dostępne w wersji pełnej

II. Termodynamika statystyczna

1. Określenie termodynamiki statystycznej

Dostępne w wersji pełnej

2. Podstawowe pojęcia i prawidłowości

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Aneks 4

Informacja

I. Określenia wstępne i taksonomia definicji

Dostępne w wersji pełnej

II. Koncepcja Shannon

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

III. Określenia algorytmiczne

Dostępne w wersji pełnej

Summary

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Bibliografia

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Skorowidz nazwisk

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

Dostępne w wersji pełnej

Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

ROBERT PIOTROWSKI



Wydawnictwo Dialog(c) Copyright edycja elektroniczna

DEMON MAXWELLA

DZIEJE I FILOZOFIA PEWNEGO
EKSPERYMENTU

DIALOG 