

NEWTON

II.

**BIBLIOTECZKA PRZYRODNICZA**

POD REDAKCJĄ  
ZOFJI BOHUSZEWICZÓWNY

STOPIEN II

M. GROTOWSKI  
NEWTON



„DLA WSZYSTKICH” NR. 237

SERJA C.

MARJAN GROTOWSKI

---

# NEWTON

CZ. II.

Z 19 RYCINAMI



NAKLAD KSIĘGARNI ŚW. WOJCIECHA  
POZNAŃ — WARSZAWA — WILNO — LUBLIN  
1933

---

TŁOCZONO W DRUKARNI ŚW. WOJCIECHA W POZNANIU  
NA PAPIERZE Z WŁASNEJ FABRYKI PAPIERU „MALTA”.  
WINIETA OKŁADKOWA M. JAROSZYŃSKIEJ WYKONANA  
TECHNIKĄ OFFSETOWĄ.

## ROZDZIAŁ PIĄTY.

### W Cambridge.

*„...omne immensum peragravit mente animoque,”* (cały bezmiar przewędrował duchem i myślą)  
Lukrecjusz.

W liście, towarzyszącym rozprawie o barwach cienkich warstewek, Newton pisał do Oldenburga, że „obiegał sobie nigdy nie ogłaszać jakiejkolwiek hipotezy co do barw i światła, ...aby się nie wikłać w niepotrzebne spory”. Postanowienie to nie było nowe; sięgało 1672 r., gdy „Nowa teoria światła i barw” wywołała wbrew oczekiwaniu Newtona ożywioną dyskusję. Podawanie w wątpliwość wniosków, które Newton uważał za bezsporne, żądanie dodatkowych wyjaśnień tego lub innego ustępu rozprawy, który mógł się wydawać niejasnym, zrozumiała zupełnie nieufność zwolenników dawnych teoryj, całkowicie obalonych przez początkującego fizyka, a więc to wszystko, co zazwyczaj towarzyszy wielkiemu odkryciu, głęboko uraziło Newtona. W liście (z d. 25 maja 1672 r.) do Collinsa, będącego jakgdyby matematycznym korespondentem Newtona, zastrzega się przeciwko drukowaniu swych wykładów optyki: „już ten bowiem niewielki użytek, jaki czyniłem z prasy drukarskiej, nauczył mnie, że wtedy dopiero odzyskam

swoją poprzednią spokojną wolność, gdy zerwę z nią wszelkie związki, co, mam nadzieję, wkrótce nastąpi”.

Rozdrażnienia tego nie zmniejszał ani pełen szacunku i uznania stosunek T-wa Królewskiego do prac Newtona, ani stopniowe wycofywanie się przeciwników z dyskusji: Hooke po odpowiedzi Newtona unikał bezpośredniego z nim sporu, Pardies polemikę swoją zakończył, jak wyżej była o tem mowa, wyrażeniem zupełnego zadowolenia z odpowiedzi Newtona, Huygens po dwukrotnej wymianie zdań z Newtonem nie poruszał już wcale teorii barw.

Mimo to rozgoryczenie wzrastało. W 1673 r. zamierza Newton zerwać całkowicie z fizyką i matematyką i objąć wykłady prawa, które wtedy właśnie wakowały w Cambridge. W marcu tegoż roku zgłasza swe wykreślenie z listy członków Towarzystwa Królewskiego, uzasadniając swą prośbę niemożnością brania udziału w posiedzeniach T-wa, i co za tem idzie, bezcelowością figurowania w spisie członków. Podanie cofa dopiero wtedy, gdy Oldenburg zapewnia go, że będzie zwolniony od opłaty składki, wynoszącej 1 szylinga za posiedzenie, co dla Newtona, mającego wówczas bezpłatne mieszkanie i utrzymanie w kolegium oraz około 250 funtów szterlingów rocznie, nie mogło być obciążeniem. W czerwcu zawiadamia Oldenburga, że nadal „nie będzie mógł zajmować się przedmiotami, należącymi do filozofji przyrody”, i wyraża ufność, że Oldenburg nie weźmie mu za złe, gdy nie będzie nic „tego rodzaju” od niego otrzymywał; wreszcie prosi go usilnie, aby zechciał możli-

wie go nie zawiadamiać o zarzutach lub „innych pismach filozoficznych“, któreby dotyczyły jego osoby.

Tej prośby Oldenburg nie spełnił: ważniejszy był dla niego pożytek, jaki dzięki rozgłosowi polemik ciągnęło z nich T-wo, niż liczenie się z drażliwością Newtona. To też nietylko przesyłał Newtonowi wszystkie, choćby najdrobniejsze i najmniej uzasadnione zarzuty, z jakimi się jego prace optyczne spotykały, ale jeszcze domagał się natarczywie odpowiedzi Newtona. Odpowiedzi te, początkowo powściągliwe, stawały się z biegiem czasu coraz to ostrzejsze. Newtona one w najwyższym stopniu drażniły, nawet wtedy, gdy jak w przypadku leodyjskiego uczonego Antoniego Lucasa były wywołane przez badania, prowadzone, niewątpliwie, w duchu badań newtonowskich.

W listach do Oldenburga nie tai swego niezadowolonia: „Widzę, że stałem się niewolnikiem filozofji. Ale gdy się uwolnię od stosunków z p. Lucasem, to powiem jej wyraźnie i na zawsze „bywaj zdrowa“, wyjąwszy to, co robię dla własnej przyjemności lub co chcę zostawić dla ogłoszenia po mojej śmierci; doświadczyłem bowiem, że albo nie należy nic zgola nowego dawać albo też jest się zmuszonym całą swoją pracą wkładać w obronę swego wynalazku.“ Od dyskusyj żadnego wyjaśnienia spornych zagadnień Newton nie oczekiwał: to, co ogłaszał, uważał za bezsporne fakty, oparte na doświadczeniu. „Główną rzeczą, pouczał on Lucasa, jest [w newtonowskich doświadczeniach optycznych] różna łamliwość światła, tej zaś dowiodłem doświadczeniem krzyżowem. Jeżeli ten dowód jest

słuszny, to nie wymaga żadnego dalszego sprawdzania, jeżeli zaś słuszny nie jest, musi być znaleziony błąd".

Stopniowo wzrasta w nim lekceważenie przeciwników, którzy nie rozumiejąc widocznie zasad badania, próbują podważyć jego na nieomylnych doświadczeniach oparte wnioski drogą rozumowania lub przy pomocy doświadczeń, źle pomysłanych, a nawet często błędnych. A do błędnych skłonny jest coraz bardziej zaliczać te wszystkie, które w takim lub innym szczególnie prowadzą do odmiennych niż jego wyników. I tak Lucas podaje jako jedyną niezgodność swych doświadczeń z doświadczeniami Newtona, że długość widma, otrzymanego przy użyciu pryzmatu o tym samym kącie łamiącym, co w pryzmacie Newtona, była półtora raza mniejsza od podanej w „Nowej teorii światła i barw“, i w ten sposób stwierdza po raz pierwszy ważny fakt, który mógłby doprowadzić do ustalenia różnej zdolności rozszczepiającej różnych rodzajów szkła. Newton poprzestaje na zaznaczeniu w przypisku: „Byłbym prawie zapomniał, że Experimentum crucis i inne podobne doświadczenia, które muszą służyć do badania barw, należy wykonywać przy użyciu pryzmatów tak silnie łamiących, aby długość widma była pięć razy większa, niż jego szerokość, lepiej więcej, niż mniej, gdyż inaczej doświadczenia nie będą tak szczęśliwe, jak moje“.

On sam pomocy ani wskazówek nie potrzebuje. Jeżeli nawet niekiedy korzysta z cudzych pomysłów lub badań, to nadaje im taki kształt, prowadzi je w takim kierunku, że stają się one czemś zupełnie nowem i nieoczekiwanem dla pierwotnego ich



twórcy. To też nie może zrozumieć oburzenia Hooke'a z powodu prawie całkowitego przemilczenia w ostatniej rozprawie Newtona jego badań nad barwami cienkich warstewek: „...jeżeli Hooke chce powiedzieć, że Newton użył nie tyle jego teorii, ile doświadczeń i spostrzeżeń, to gotów jest się z tem zgodzić. Przy odbiciu promieni świetlnych wyraźnie Hooke'a przytoczył, również wyjaśnienie nieprzezroczystości porami w ciałach pochodzi od Hooke'a, a szczególnie jest mu wdzięczny za notatkę o barwach cienkich płytek.” Lecz cóż z tego, gdy „Hooke mu całkowicie pozostawił obmyślenie doświadczeń, które są konieczne do zrozumienia tych barw i ich pochodzenia, jak również do uzasadnienia hipotezy wyjaśniającej”. Nie ukrywa też gryzącej ironji w odpowiedzi na list Hooke'a, który wyrażając żywą chęć zaprzestania sporów, prosi Newtona o zawiadomienie go o nowych badaniach przed wysłaniem ich opisu do T-wa Królewskiego, aby miał czas ocenić je i zrozumieć. Nie mógłby, odpisuje mu Newton, znaleźć lepszego obrońcy swych prac od Hooke'a, który narówni z Kartezjuszem tyle zrobił dla rozwoju optyki. Jeżeli on, Newton, nieco dalej się posunął, to tylko dlatego, że stanął na barkach olbrzymów.

W tych warunkach współpraca z T-wem Królewskim stawała się coraz trudniejsza. Druk rozprawy Newtona, nadesłanej Towarzystwu na życzenie Oldenburga, został milczącą uchwałą wstrzymany; nigdy też nie ukazała się na łamach „Philosophical Transactions”, gdzie dopiero w 1697 r. umieści Newton niepodpisany zresztą przez siebie list „do wysoce szlachetnego pana Karola Moun-

taque<sup>1)</sup>“, w którym rozwiązane są dwa zagadnienia matematyczne postawione przez matematyka Jana Bernoulliego.

Wyjazdy do Londynu stają się coraz rzadsze, coraz bardziej zato wyteżoną staje się praca, wykonywana w niewielkiem mieszkaniu, zajmowanem przez Newtona w Trinity College. Jej zakres jednak zmienia się całkowicie. Collins, z którym Newton od 1669 r. podtrzymywał ożywioną korespondencję, donosząc mu o swych pracach matematycznych, zawiadamia w 1675 r. Gregoryego, „że nie pisał do Newtona, ani go nie widział już od jakichś jedenastu czy dwunastu miesięcy, nie chcąc mu zakłócać pogrążenia się (him as being intent) w badaniach i doświadczeniach chemicznych, tem bardziej, że i on i dr. Barrow zaczynają uważać rozważania matematyczne (mathematical speculations) za co najmniej suche, jeżeli nie całkowicie jałowe“.

Newton istotnie dni całe przepędzał w laboratorium, urządzonem w jednym z pokojów jego mieszkania. Stało się ono dla niego całym światem. Wychodził z niego wtedy tylko, gdy obowiązki profesorskie go do tego zmuszały. Późno w noc słyszał przydzielony do jego usług młodociany „sizar“, jak zatopiony w rozmyślaniach chodził tam i zpowrotem po pracowni do drugiej, trzeciej godziny po północy, aby o piątej rano znów zabrać się do doświadczeń. Praca tak bardzo go pochłaniała, że często zapominał o jedzeniu, które w kilka godzin później nietknięte sprzątano ze stołu. Myśl

<sup>1)</sup> Błąd drukarski: powinno być Montague.

o niej nie opuszczała go nawet w tych rzadkich chwilach, które poświęcał wypoczynkowi. Czasami z przechadzki w ogrodzie, przylegającym do jego mieszkania, wbiegał zpowrotem po schodach do swego laboratorium, aby zanotować jakiś pomysł lub zmienić jakiś szczegół doświadczenia. Ze swej dość zasobnej biblioteki prawie nie korzystał; jedyną książką, którą stale miał pod ręką, był słynny podręcznik „chemnickiego lekarza i filozofa“ Agricoli (1494—1555) „de re metallica libri XII“, którego jeden egzemplarz kupił w swoim czasie Justus Ludwik Decjusz do prywatnego księgozbioru króla Zygmunta Augusta. W książce tej, zawierającej, jak głosił podtytuł, opis „wszystkiego, co dotyczy metali“, szukał niejednokrotnie wyjaśnienia własności ciał metalicznych lub sposobu ich otrzymywania. Niekiedy jednak przerywał swe doświadczenia, aby pograżyć się w rozmyśleniach religijnych. Stanowiły one bowiem dla niego konieczne i logiczne uzupełnienie jego badań. „Bóg, pisał dawniej jeszcze Newton, który zwierzętom nadał w niepojęty sposób siłę dowolnego poruszania, mógł, niewątpliwie, i ciałom nadać inne zasady ruchu, które równie mało rozumiemy.“ To samo, wyraźniej jeszcze, powtórzy wtedy, gdy sformułuje swe „pewniki lub prawa ruchu“. Zgłębieniu tego, co uważał za ostateczną przyczynę zjawisk przyrody, przypisuje większą bodaj wagę, niż swym pracom doświadczalnym. Gdy Halley, którego darzył zawsze dużą przyjaźnią, pozwolił sobie w kilkanaście lat później żartować na ten temat, przywołał go ostro do porządku.

To wszystko, nad czem rozmyśla i co odkrywa, jest jednak tylko jego osobistą własnością. Posta-

nowił bowiem nic za życia nie ogłaszać. Zresztą nie ma przed kim się wywnętrzać; w Anglii nie widzi nikogo, ktoby mu dorównywał, na kontynencie widzi tylko jednego Huygensa. Oddziela go jednak od niego nietylko przestrzeń, ale i cała przepaść w poglądach. W Cambridge nie ma nikogo bliższego; zczasem, gdy w 1683 r. rozpocznie wyklądać chemję Vigani, z nim najchętniej czas będzie spędzał. Będzie mógł z nim omawiać zagadnienie przemiany metali, nad którego rozwiązaniem od wielu lat pracował; będzie mógł roztrząsać, czy prawdą jest, „że w Chemnitz, na Węgrzech (!), zmieniają żelazo w miedź przez rozpuszczanie go w wodzie, zaprawionej witrjolem, który zbierają w wydrążeniach skał, w głębi kopalni“; lub przedyskutuje skład balsamu, mającego chronić „od róży, dżumy, ospy, trucizny i pogryzienia przez psa wściekłego“; a nawet może poruszy z nim to zagadnienie, które powtórzy jako pytanie 30 w swem uzupełnieniu „Optyki“: „czy nie może zachodzić wzajemne przekształcanie się gęstych ciał i światła?“

Słuchaczy w uniwersytecie ma niewielu, a i ci nawet często wcale nie przychodzą na wykłady, tak że Newton musi je odwoływać. Taki jest bowiem zwyczaj studentów w Cambridge, z goryczą stwierdzał już Erazm Rotterdamski.

Zresztą nie może mieć uczniów człowiek, który, według trafnej uwagi Wallisa, zrywa za sobą mosty, gdyż woli, aby go podziwiano, niż by kroczo no w jego ślady. Może mieć tylko wyznawców, ale ci zjawiają się dopiero później.

W samem Cambridge o nim wiedzą niewiele. Ten olbrzym, którego prace stanowiąc będą epokę

w nauce, jest po wyjściu z pracowni zwykłym człowiekiem, żyjącym wszystkimi przesadami swego czasu, powtarzającym z całą dobrą wiarą wszystkie plotki i pogłoski, jakie do niego dochodzą, w rodzaju np. tej, o której sprawdzenie prosi swego przyjaciela Astona, wyjeżdżającego na kontynent. „Jest w Holandji pewien człowiek, nazwiskiem Borry, którego papież kazał wtrącić do więzienia kilka lat temu, aby, jak mi o tem mówiono, wydobyć od niego wielkiej wartości tajemnice medycyny i finansów (of medicine and profit). Uciekł jednak do Holandji, gdzie mu przydano straż. Zdaje mi się, że chodzi on zazwyczaj w zielonem ubraniu.” Od reszty swych współrodaków niczem się pozornie nie różni: w rzeczach życia codziennego, polityki, jest tego samego co i oni zdania, czując swym zdrowym rozsądkiem, że jest to najwłaściwszy sposób postępowania w sprawach, które go naogół mało obchodzą. Jedyną rzeczą, która może rzucać się w oczy, jest jego roztargnienie: liczne tego przykłady, podawane z ust do ust, wytworzą zczasem koło jego osoby swoistą legendę. Poza tem nie wiedzą o nim nic: gdy już sława „Principiów” dotrze do Cambridge, powtarzać sobie będą opinię uczonego dr. Babbingtona, że książkę tę należy siedem lat studjować, aby coś z niej zrozumieć.

Newton osiągnął więc to, do czego dojść musiało. Był sam. Samotność ta początkowo nie była zupełna. Niestrudzony Oldenburg nie przestawał być pośrednikiem między Newtonem a światem naukowym. W 1676 r. napisał do Cambridge z prośbą, aby Newton zechciał udzielić wiadomości

o swych pracach matematycznych, a szczególnie o swej metodzie rozwijania w szereg i otrzymywania na tej drodze kwadratury krzywych. Wiadomości te miały być przeznaczone dla młodego, ale głośnego już matematyka Leibniza (1646—1716), który w swem ruchliwym życiu, przenosząc się z miejsca na miejsce, trafił i do Londynu i tam poznał się z Oldenburgiem, a po wyjeździe z Anglii zawiązał z nim ożywioną korespondencję. W jednym z listów Oldenburga wyczytał wzmiankę o odkryciach matematycznych Newtona, które go bardzo zaciekały i o których chciał się dowiedzieć czegoś bliższego od samego Newtona. Newton z odpowiedzią się nie spieszył, po kilku dopiero tygodniach (13 czerwca 1676 r.) przesłał Leibnizowi na ręce Oldenburga list, którego główną treść stanowiło twierdzenie o rozwinięciu dwumianu, przytoczone zresztą bez udowodnienia, i kilka przykładów rozwinięcia w szereg<sup>1)</sup>. Leibniz jednak na tem nie poprzestał; wobec czego Newton był zmuszony poprzednią odpowiedź uzupełnić obszernym dwudziestodwustronicowym listem. Newton podaje w nim dość szczegółowe streszczenie rozprawy „De analysi“, którą, jak twierdzi, chciał później uzupełnić i ogłosić razem ze swojemi pracami optycznemi, czego na skutek polemiki, jaka wtedy powstała, ostatecznie zaniechał; zaznacza, że jest w posiadaniu metody, pozwalającej nietylko na kreślenie stycznych do krzywych i to w różnych przypadkach, ale również na rozwiązywanie zagadnień, związanych z minimum i maximum, i innych

---

<sup>1)</sup> P. rozdział trzeci.

jeszcze, o których nie chce mówić. Podstaw jednak swej metody nie ujawnia. Idąc za przykładem Galileusza, który niejednokrotnie używał podobnego sposobu, wyraża je w postaci następującego anagramu:

6a 2c d ae 13e 2f 7i 3l 9n 4o 4q 2r 4s 8t 12v x<sup>1)</sup>

którego ani Leibniz, ani zresztą nikt poza Newtonem odgadnąć nie był w stanie.

Leibniz natychmiast odpisał Newtonowi, opisując mu w najogólniejszych zresztą zarysach swoją metodę rachunkową, polegającą na rozważaniu różnic współrzędnych i w prosty sposób prowadzącą do wyznaczenia tangensa kąta, jaki styczna tworzy z osią współrzędnych<sup>2)</sup>. Newton na ten list już nie odpowiedział, całą tę bowiem korespondencję prowadził bardzo niechętnie. W przypisku, przeznaczonym dla Oldenburga, Newton wyraża nadzieję, że Leibnizowi wystarczą dane, zawarte w jego liście, gdyż sam on nie ma ochoty dłużej nad tym tematem się rozwodzić; ma bowiem teraz co innego w głowie i byłoby mu bardzo nie na rękę, gdyby musiał raz jeszcze zastanawiać się nad temi rzeczami.

Od tych zagadnień, które „miał w głowie“, musiał jednak jeszcze raz się oderwać w jesieni 1679 r. na skutek listu, otrzymanego od Hooke'a,

<sup>1)</sup> Rozwiązanie tego anagramu jest następujące: „Data aequatione quotcunque, fluentes quantitates involvente, fluxiones invenire et vice versa“ (gdy dane jest jakiekolwiek równanie, zawierające wielkości płynące, znaleźć fluksje i odwrotnie).

<sup>2)</sup> Była to ta sama metoda, której obecnie używamy w rachunku różniczkowym.

który wtedy właśnie po śmierci Oldenburga powołany został na stanowisko sekretarza T-wa Królewskiego. W liście tym, którego treści dokładnie nie znamy, Hooke zwracał się do Newtona z prośbą o nadesłanie jakiejś rozprawy do „Philosophical Transactions” i, jak się zdaje, wspominał mu o świeżo przysłanej Towarzystwu książce Mallemona de Messanges o budowie świata. Autor, o którego innej pracy matematyk francuski Lalande pisał później, że „nie jest tak nedorzeczna, jak zazwyczaj”, zakładał, że słońce wraz z Merkurym, jako swym satelitą, porusza się wraz z pozostałymi planetami dokoła wspólnego środka, i na tem założeniu budował nową teorię. Newton w odpowiedzi dał Hooke'owi do zrozumienia, że dalsza wymiana listów byłaby bezcelowa, „gdyż na bok odłożył filozofję”, dla osłódenia jednak, jak sam się wyraża, swej odmowy, ocenił, jak się zdaje, w krótkich słowach książkę Mallemona i naszkicował plan doświadczenia, któreby mogło udowodnić ruch obrotowy ziemi. Doświadczenie to miało polegać na pionowem zrzucaniu jakiegoś ciała ze znacznej wysokości; ciało to — w przypadku ruchu ziemi — musiałyby, według Newtona, odchylić się od pionu na wschód i spadać wzdłuż linii spiralnej.

Już to samo, że pomysł ten nie był żadną nowością — jeszcze Tycho de Brahe chciał na nim oprzeć dowód nieruchomości ziemi<sup>1)</sup> — wykazywał z całą oczywistością, do jakiego stopnia Newton

---

<sup>1)</sup> Według niego, gdyby ziemia się obracała, ciała musiałyby spadać na zachód od pionu.



chciał jak najprędzej zakończyć korespondencję z Hookem, uchylając się od niej w pierwszy lepszy sposób, jaki mu przyszedł do głowy. Jest również rzeczą niewątpliwą, że spiralny kształt drogi, jaką, według Newtona, opisze spadające ciało, nie stał w żadnym związku z jego teorią grawitacji, której stosowanie w tym przypadku tem bardziej było nie na miejscu, że można było, wobec niewielkiej (w porównaniu z promieniem ziemskim) wysokości, z jakiej ciało spada, założyć bez znacznieszego błędu stałość siły ciężkości. Samą myśl spirali podsunął Newtonowi być może, wydany w 1667 r. traktat Jamesa Gregoryego „De infinitis spiralibus inversis“, gdzie między różnymi rodzajami linii spiralnych jest wymieniony i ten, który „opisywałyby ciała ciężkie, spadające swobodnie w płaszczyźnie równika, gdyby ziemia, co byłoby fałszywym założeniem, poruszała się tylko ruchem dziennym i ciało ciężkie, spadające na dół, tak do swego pobudzała ruchu, aby przestrzenie, przez ciało przebywane, były wzajemnie w stosunku takim, jak kwadraty czasów“.

Hooke jednak ujął zagadnienie, poruszone przez Newtona, zupełnie inaczej. Dla niego było ono bezpośrednio związane z ogólnem zagadnieniem przyciągania się ciał niebieskich, nad którym oddawna, jak o tem była wyżej mowa<sup>1)</sup>, pracował nie bez bardzo poważnych wyników. Jeszcze w 1674 r. w obszernej rozprawie p. t. „Próba udowodnienia rocznego ruchu ziemi na podstawie obserwacyj“ (An attempt to prove the Annual motion

<sup>1)</sup> P. rozdział drugi.

of the earth from observations) stwierdzał co następuje: „1. Wszystkie ciała niebieskie posiadają przyciąganie lub zdolność (power) grawitacyjną w kierunku ich własnych środków, dzięki której nie tylko przyciągają swe własne części i zapobiegają, aby one od nich nie odlatywały, jak to możemy obserwować na ziemi, lecz również przyciągają wszystkie inne ciała niebieskie, znajdujące się w obrębie ich sfery działania; wskutek tego nie tylko słońce i księżyc mają wpływ na ciało i ruch ziemi, lecz również Merkury, Wenera, Mars, Saturn i Jowisz przez swą zdolność (power) przyciągającą mają znaczny wpływ na jej ruch, podobnie jak w ten sam sposób odpowiednia zdolność przyciągająca ziemi ma znaczny wpływ również na ich ruch. Drugie założenie jest takie: wszystkie ciała, które są wprawione w prostoliniowy (direct) i prosty (simple) ruch, będą nadal poruszały się naprzód wzdłuż linii prostych, dopóki nie będą odchylone (deflected) przez jakie inne skuteczne siły (effectual powers) i zakrzywione (bent) w ruch, opisujący koło, elipsę lub jakąś inną bardziej złożoną krzywą. Trzecim założeniem jest, że te przyciągające siły (powers) są tem potężniejsze w działaniu, im ciało, na które działają, jest bliżej ich własnego środka”.

W świetle tych założeń, uogólnionych następnie w 1678 r. i na komety (w książce „De cometa”), ruch ciała, swobodnie spadającego na powierzchnię ziemi, jest tylko przypadkiem szczególnym ruchu ciał niebieskich, a więc droga takiego ciała musi mieć kształt nie spirali, lecz elipsy o ognisku w środku ziemi. Odpisując w tym duchu Newto-

nowi i zaznaczając, że wobec tego poza odchyleniem ciała spadającego w kierunku wschodnim należy oczekiwać odchylenia i to „o wiele znaczniejszego“ w kierunku południowym<sup>1)</sup>, Hooke stwierdził, że te jego wywody oparte są na prawie grawitacji, według którego siła przyciągająca jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości.

Tak sformułowanego prawa nie było w żadnej z poprzednich prac Hooke'a. Przeciwnie, w „Próbie udowodnienia ruchu ziemi“ jest wyraźnie zaznaczone, „że co do różnych stopni [zmniejszania się siły w miarę wzrostu odległości] tego jeszcze doświadczalnie nie sprawdziłem“. Coprawda Hooke uważał to za rzecz stosunkowo łatwą. „Ten, kto zrozumiał istotę wahadła kołowego i ruchu kołowego łatwo zrozumie całą istotę tej zasady i będzie umiał znaleźć w przyrodzie kierunek dla jej należytego ustalenia“. Jedyne braki czasu, pisał Hooke, nie pozwala mu na dalsze badania, które, wobec tego, pozostawia innym, życząc im serdecznie powodzenia. Należy wobec tego przypuszczać, że było to odkrycie stosunkowo świeżej daty. W jaki sposób do niego doszedł, niewiadomo. Być może, było ono dla niego poprostu hipotezą w rodzaju tej, jaką dawniej przeciwko Keplerowi wysunął Bulialdus, i której potwierdzenia oczekiwał Hooke od astronomji.

---

<sup>1)</sup> Takby było, gdyby pion miał kierunek zgodny z kierunkiem promienia ziemi; ruch obrotowy ziemi powoduje jednak odchylenie pionu od tego kierunku, tak że te dwa odchylenia (pionu i południowy ciała spadającego) prawie dokładnie się znoszą.

Newton „zaledwie przymusił się“ do odpisania Hooke'owi, dziękując mu w krótkich słowach za zwrócenie uwagi na jego pomysł, na list trzeci nie odpisał wcale. Jakkolwiek bowiem prace Hooke'a nad grawitacją były w porównaniu z pracami jego poprzedników ogromnym krokiem naprzód, dla Newtona nie zawierały nic nowego<sup>1)</sup>. Wszystko to było mu znane, co najmniej od roku 1673, jak tego dowodzi list do Huygensa z podziękowaniem za przysłanie „Horologium oscillatorium“. Jeżeli czego wówczas brakowało Newtonowi do całości teorii grawitacji, to prawdopodobnie związania jej z ogólnymi zasadami mechaniki, z których mogłyby być wyprowadzone ruchy ciał niebieskich. W każdym razie najmniejszych śladów takiego powiązania niema – w ustępach o ciężkości, zawartych w pracy o barwie cienkich warstewek, a jeszcze mniej w liście pisanym w 1679 r. do Boyle'a. Powtarzając naogół wywody, podane już uprzednio w pracach optycznych, Newton próbuje działaniem eteru, różną jego gęstością w różnych ciałach, objaśnić takie zjawiska fizyczne, jak załamanie światła, przyleganie, aby wreszcie przejść do „przyczyny grawitacji“. Eter, według niego, składa się z rozmaitych części, różniących się swą wielkością. W porach ciał jest stosunkowo mniej grubszego eteru, niż w przestrzeni próżnej. Wobec tego eter, zawarty w globie ziemskim, jest o wiele rzadszy,

<sup>1)</sup> Wyjątek stanowiłby mogło twierdzenie Hooke'a o zakrzywionej drodze komet, czego Hooke zresztą w liście swoim do Newtona nie poruszał; Newton bowiem przez długi jeszcze czas, jak tego dowodzą listy jego do astronoma Flamsteeda, uważał drogę komet za prostolinjową.

niż w warstwach otaczającej go atmosfery, i to tem bardziej, im dalej od środka ziemi znajduje się dana warstwa. W ciele więc, swobodnie wiszącym w powietrzu lub leżącym na ziemi, pory górnej części są wypełnione eterem grubszym, dolne cieńszym, a ponieważ eter grubszy mniej się nadaje do tego, aby pozostawać w porach ciała, dąży więc do wychodzenia z ciała, ustępując miejsca eterowi rzadszemu z dołu. Temu jednak musi towarzyszyć opadanie samego ciała, inaczej taki ruch eteru byłby niemożliwy. To objaśnienie, wzięte prawie dosłownie z Kartezjusza, nie poparte żadnym rachunkiem, żadnem powołaniem się na jakiegokolwiek prawo mechaniki, upoważnia do przypuszczenia, że teoria grawitacji nie stanowiła wówczas przedmiotu badań Newtona, i że był on wówczas bardzo daleki od poglądów, które miały w kilka lat potem stanowić treść „Zasad“. Dopiero, zdaje się, drugi list Hooke'a skłonił Newtona do odgrzebania z pod stosu papierów notatek, dotyczących pierwszych jego badań nad grawitacją. „To jest prawda, napisze później Newton, że jego listy skłoniły mnie do znalezienia metody wyznaczania kształtów“ [dróg planet]. Szło to jednak powoli: „gdy wypróbowałem ją [tę metodę] na elipsie, zarzuciłem te rachunki, będąc zajęty innemi badaniami“. Zdaje się jednak, że stopniowo praca się posuwała, dowodem choćby to, że na jesieni 1684 r. Newton, który dotychczas wykładał jedynie optykę i matematykę, wykłady swoje poświęcił omawianiu zjawisk ruchu. O pracach jednak jego w tym okresie czasu nie mamy żadnych wiadomości. Dwaj ludzie, z którymi Newton utrzymywał bliższe stosunki,

Oldenburg i Collins umarli, nowych znajomości nie miał. Newton pisuje coraz rzadziej i wreszcie w 1681 r. zupełnie odcina się od świata. Ogrom pracy, wykonanej wtedy przez niego, ujawni się dopiero w olbrzymiej ilości doświadczeń, które przytoczy w „Zasadach” i „Optyce”. Tymczasem o nich nic niewiadomo. Newton pracuje dla siebie.

Do tej pustelni, w jakiej dobrowolnie zamknął się Newton, zdołał jednak w sierpniu 1684 r. trafić Halley. Newtona osobiście nie znał; młodszy od niego o czternaście lat, był jeszcze słuchaczem oksfordzkiego uniwersytetu, gdy Newton ogłaszał swoje prace z optyki; następnie kilka lat podróży, między innymi i do Gdańska, gdzie odwiedził słynnego Heweljusza (1611—1687), oderwało go od Anglii, w której zjawiał się tylko na krótko. Od paru zaledwie lat osiadł był w Londynie, gdzie poprzedził go rozgłos pomiarów astronomicznych, wykonanych na wyspie św. Heleny i stanowiących pożyteczne uzupełnienie katalogu gwiazd stałych Tychoona de Brahe, w którym półkula południowa była pominięta. Z tej właśnie podróży przywiózł Halley cenne spostrzeżenie, że chód zegarów wahadłowych w różnych krajach i na różnych wysokościach jest różny. Te prace otworzyły mu dostęp do T-wa Królewskiego, któremu wkrótce (w 1683) przedstawił rozprawę o zboczeniach igły magnetycznej. W owym też czasie, ulegając być może prądom, panującym w T-wie, gdzie zagadnienie grawitacyjne prawie nie schodziło z porządku dziennego, zajął się teorią ruchów ciał niebieskich. Stosunkowo łatwo udało mu się znaleźć prawo odwrotnych kwadratów; wszelkie jednak wysiłki

aby je uzasadnić i zrozumieć sposób, w jaki warunkuje ono ruchy planet, spełzły na niczem. W styczniu 1684 r., spotkawszy się z Hookem i Krzysztofem Wrenem, o których wiedział, że nad tem zagadnieniem pracowali, zwierzył im się ze swych niepowodzeń. Hooke oświadczył, że posiada całkowite rozwiązanie, woli jednak do czasu zachować je w tajemnicy, aby i inni zrozumieli całą jego trudność. Być może, w tej właśnie rozmowie zostało wymienione nazwisko Newtona, możliwe, że Halley dowiedział się o nim później, w każdym razie, gdy stracił nadzieję, aby mu Hooke wyjawiał swoją tajemnicę, postanowił zwrócić się do Newtona. Wielka łatwość towarzyska, niezwykły wdzięk w obejściu „nieporównanego“, jak go nazywano, Halleya, którym w swoim czasie oczarował sędziwego Heweljusza, przełamały i tym razem nieufność i podejrzliwość Newtona. Newton zwierzył mu się ze swych prac, i wtedy to Halley usłyszał „dobrą, jak pisał, nowinę“, że poszukiwane przez niego rozwiązanie jest już całkowicie przez Newtona opracowane. Nie mogąc jednak odnaleźć na poczekaniu potrzebnych papierów, Newton obiecał Halleyowi przesłać mu je wkrótce do Londynu. Obietnica została spełniona w listopadzie tegoż roku. Notatka Newtona takie zrobiła na Halleyu wrażenie, że w parę dni później pojechał jeszcze raz do Cambridge, aby na jej temat z Newtonem porozmawiać. Podczas tego pobytu zobaczył u Newtona ciekawy traktat „De motu“, który na jego prośbę Newton zgodził się przesłać T-wu dla wpisania go do rejestru. Traktat jednak, jak się okazało, nie był gotów. „Badanie różnych rzeczy

zajęło więcej czasu, niż się spodziewałem", pisał Newton do Astona, swego przyjaciela z młodzieńczych jeszcze lat, który podówczas był po ustąpieniu Hooke'a sekretarzem T-wa. Dopiero na początku lutego 1685 r. Newton przysłał do Londynu dwudziestoczyterostronicową rozprawę p. t. „Propositiones de motu“.

Rozprawę, której główna treść została w następstwie powtórzona w „Zasadach“, rozpoczynają trzy określenia i cztery hipotezy. Określenia są następujące: „1. Nazywam siłą dośrodkową tę, dzięki której ciało jest przyciągane lub pędzone ku jakiemś punktowi, który uważamy za środek. 2. Siłą zaś ciała lub ciała przyrodzoną tę, dzięki której dąży do trwania w ruchu swoim wzdłuż linii prostej. 3. I oporem to, co pochodzi z prawidłowo przeszkadzającego środowiska“. Po tych określeniach, z których drugie wskazuje na dość bliską łączność z poglądami dawnej mechaniki, szczególnie zaś może z terminologią Kartezjusza, i gdzie mowy niema o dokładnem określeniu siły, następują „hipotezy“. Z nich tylko pierwsza o zależności oporu od gęstości środowiska i prędkości poruszającego się ciała zasługuje na tę nazwę; pozostałe trzy tego hipotetycznego charakteru nie mają. Druga z nich jest tem, co Newton w „Zasadach“ podniesie do godności pewnika — zasadą bezwładności: „Każde ciało pod działaniem siły przyrodzonej (vi insita) porusza się do nieskończoności jednostajnie wzdłuż linii prostej, o ile coś z zewnątrz [temu] nie przeszkodzi“. Trzecia zawiera sformułowanie twierdzenia o składaniu sił: „W danym czasie ciało pod działaniem sił łącz-



nych będzie tam przeniesione (eo ferri), dokądby [doszło] pod działaniem sił rozdzielonych w równych czasach kolejno (successive)“. Wreszcie „hipoteza“ ostatnia dotyczy drogi, przebytej ruchem przyspieszonym: „Przestrzeń, którą ciało pod działaniem jakiejkolwiek siły środkowej opisze na samym początku ruchu, jest w podwójnym stosunku do czasu“ (in duplicata ratione temporis). Resztę rozprawy stanowią cztery twierdzenia i siedem zagadnień (problemata). Twierdzenia te ustalają cechy ruchu, zachodzącego pod działaniem sił środkowych i stopniowo doprowadzają do najważniejszego w tej rozprawie twierdzenia czwartego („gdy siła dośrodkowa jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od środka, kwadraty czasu okresów na elipsach są [w stosunku takim] jak sześciiany osi poprzecznych“), wykazującego nierozzerwalny związek między prawami Keplera a prawem odwrotnych kwadratów.

Cały charakter tej rozprawy, a zwłaszcza wzmianka, że ciało spadające wtedy tylko opisuje linię spiralną, gdy siła działająca jest odwrotnie proporcjonalna do trzeciej potęgi odległości, wskazuje, że „Propositiones de motu“ zostały odtworzone z tu i owdzie uzupełnionych notatek, jakie Newton porobił wtedy, gdy list Hooke'a pobudził go do ponownego zajęcia się teorią grawitacji. Teraz mu to już nie wystarczało. Pod wpływem, być może, rozmowy z Halleyem postanowił myśli, naszkicowane w rozprawie, pogłębić i rozwinąć. Do pracy tej nie przystąpił odrazu. W końcu lutego wyjechał na kilka tygodni do Woolsthorpe'u i dopiero po powrocie stamtąd zabrał się do pisania.

Pierwsza część „Zasad” została ukończona na początku 1686 r. i 18 kwietnia przedstawiona T-wu przez dr. Vincenta, który w przemówieniu podkreślił znaczenie tego dzieła, traktującego o nowych i ważnych zagadnieniach. Przewodniczący sir John Hoskyns dodał do tych słów uwagę, że zasługi autora tem wyżej należy cenić, iż jednocześnie odkrywał i udoskonalał odkryte przez siebie prawa.

Te pochwały, w których zapomniano zupełnie o poprzednikach Newtona, rozgoryczyły Hooke'a. Po raz drugi pracę wielu lat, prowadzoną w bardzo ciężkich warunkach, gdy urząd, jaki zajmował w T-wie, zmuszał go do rozpraszania się i opiekowania cudzemi badaniami, — pomysły, któremi się słusznie chlubił, podejmował kto inny, nadawał im postać tak skończoną, jakiej nie miała żadna jego rozprawa, i tym sposobem jego zasługi, jego wysiłki skazywał na rychłe zapomnienie. Tym swoim uczuciom dał wyraz zaraz po posiedzeniu w rozmowie z Halleyem. Zwrócił się do Halleya z prośbą o wpłynięcie na Newtona, aby zechciał wymienić w przedmowie jego nazwisko, przyczem dodawał, niezręcznie dość i przeceniając niewątpliwie rolę, jaką odegrał, że jemu przecież Newton zawdzięcza pojęcie odwrotnych kwadratów, jakkolwiek samo dowodzenie jest, czemu on nie zaprzecza, odkryciem Newtona. To bardzo skromne i częściowo usprawiedliwione żądanie Halley w słowach możliwie oględnych zakomunikował listownie Newtonowi. Newton odpowiedział w sposób, wykazujący wielkie rozdrażnienie. Nawiązując do swej korespondencji z Hookem w 1679 r., stwierdza, że Hooke nie miał prawa na podstawie „jego listu,

który dotyczył pocisków i obszarów, sięgających stąd [z pobliza powierzchni ziemi] aż do środka, wnioskować, że nie zna [on] teorii ciał niebieskich“, on bowiem nigdy nie rozciągał „podwójnego stosunku“ na obszary, leżące pod powierzchnią ziemi, tak jak to uczynił Hooke. Po tym wstępie, niecałkowicie zresztą zgodnym z prawdą gdyż Hooke nigdy nie utrzymywał, że siła działająca na ciało, które znajduje się pod powierzchnią ziemi, też jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości, Newton zaznacza, że prawo odwrotnych kwadratów znał już od 15 lat, i powołuje się na jedną ze swoich notatek, a następnie na przytaczany już wyżej<sup>1)</sup> list do Huygensa, w którym, czerpiąc ze swych dawniejszych papierów, dawał dowody użyteczności odkrytych przez Huygensa praw, a mianowicie „przy porównywaniu sił, z jakimi ziemia działa na księżyc i słońce na ziemię, przy rozwiązywaniu zagadnienia faz księżyca... co dowodzi, że zwracał uwagę na siły planet, wynikające z ich kołowego ruchu, i że je rozumiał“. Ale, pisze dalej, przypuścmy nawet, że Hooke przed nim sformułował to prawo, to co najwyżej miałby mniejszą jeszcze zasługę, niż Kepler ze swojemi torami eliptycznemi planet. Kepler bowiem stwierdził tylko, że tory te nie są kołowe, i na tej podstawie założył, że są eliptyczne, Hooke zaś nie mógł wiedzieć niczego więcej ponad to, że „stosunek ten jest możliwie bliski (quam proxime) kwadratowego w wielkich odległościach od środka.“ „Tym sposobem stwierdzam, że tyleż zrobiłem dla tej pro-

---

<sup>1)</sup> P. rozdział drugi.

porcji, co dla elipsy i że mam tyleż prawa przeciwko p. Hooke'owi i innym do niej, co przeciwko Keplerowi do drugiej."

Słowa te były niewątpliwie szczere. Newton bowiem wszystkie twierdzenia kiedykolwiek postawione, wszystkie odkrycia przez kogokolwiek poczynione, po raz drugi samodzielnie przerabiał i jakby odkrywał na nowo. Dając im nowe, o wiele ściślejsze uzasadnienie, uważał je za swoją duchową własność, nabytą niezależnie od wszystkich, którzy przed nim pracowali nad ich rozwiązaniem, i nie zdawał sobie sprawy, że często nieświadomie korzystał z całego przez nich nagromadzonego materiału. Stąd też pochodziła niemożność zrozumienia cudzych poglądów, o ile one odbiegały od ustalonych przez niego cudzych prac, o ile nie były całkowicie przez niego przerobione. I to nie dlatego, żeby przypisywał sobie nadzwyczajne uzdolnienia. „Jeżeli oddałem ludzkości na tej drodze pewne usługi, zawdzięczam to jedynie pilności i cierpliwemu rozmyślaniu," pisał Newton wtedy, gdy sława jego odkryć szeroko się rozniosła po świecie. To bowiem, co odkrył, wydawało mu się wobec ogromu tajemnic przyrody niczem. Porównywał się do dziecka, bawiącego się na brzegu morza i znajdującego tu i owdzie gładkie kamyczki lub muszlę niezwyklej piękności, którego jednak oczom wielki Ocean prawdy jest całkowicie niedostępny. Pewność jego źródło swoje miała gdzieś indziej: wierzył on, że ta metoda, której używał w swych badaniach, metoda, którą zwięzle wyłożył w „Zasadach", stanowiących istotnie niedościgły wzór jej stosowania, jest jedyną metodą naukową.

Śmieszne przeto i oburzające wydawały mu się pretensje ludzi, którzy przypuszczali, że w inny sposób, mniejszym wysiłkiem mogą to co i on odkryć. Żądanie Hooke'a uważa za dziwne i nieusprawiedliwione. Zarzuca mu, że „ogłosił on w swoim imieniu hipotezę Borella<sup>1)</sup>, który cośkolwiek zrobił i pisał skromnie. On zaś nic nie zrobił i teraz pisze tak, jakby wszystko wiedział i wszystko dostatecznie wyjaśnił poza tem, co pozostawało do wyznaczenia na drodze żmudnych rachunków i obserwacji, wymawiając się od tej pracy innemi zajęciami, gdy raczej powinien był się wymówić swoją do niej niezdolnością. Te jego słowa wskazują, że nie wiedział, dokąd iść... Matematycy, którzy odkrywają, wyjaśniają i wykonywają całą pracę, muszą poprzestać na tem, że są tylko suchymi rachmistrzami i wyrobnikami; inny zaś, który nic nie robi, tylko udaje i chwytą się wszystkiego, ma przywłaszczać sobie wszystkie odkrycia, zarówno tych, co następowali po nim, jak i tych, co byli przed nim...“ „I oto teraz mam wyznać w druku, że wszystko mam od niego i że sam nic nie zrobiłem, lecz jedynie zajmowałem się rachowaniem, dowodzeniem i opisywaniem odkryć tego wielkiego człowieka.“ Na to Newton nigdy się nie zgodzi. Postanawia raczej zrobić co innego: całość „Zasad“ miała się składać z trzech ksiąg; otóż trzecią księgę Newton wycofuje. „Filozofja jest tak niegrzeczną i kłótliwą panią, że gdy człowiek ma z nią do czynienia, to tak jakgdyby uwikłał się w proces sądowy. Stwier-

---

1) Powinno być „Borelliego“.

dziłem to poprzednio i znów teraz, gdy się do niej zaledwie zbliżyłem, ale to jest dla mnie ostrzeżeniem". Takie jednak skrócenie dzieła wymaga zmiany tytułu; tytuł poprzedni „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica” jest w tym przypadku zbyt szumny, wobec czego Newton wolałby tytuł skromniejszy „De motu corporum libri duo” (O ruchu ciał ksiąg dwie). A to nastrocza nowe trudności. Newton ze zwykłym sobie rozsądkiem i trzeźwością przewiduje, że zmiana tytułu książki wpłynie na jej poczytność, tego zaś dopuścić nie może cechująca go przez całe życie delikatność w stosunku do przyjaciół i dbałość o ich interesy. „Zasady” bowiem nie są wydawane ani jego kosztem ani T-wa, ale kosztem Halleya. Co prawda d. 19 maja 1686 r. T-wo uchwaliło wydać dzieło Newtona i zleciło Halleyowi nadzór nad drukiem, uchwała ta jednak nie mogła być urzeczywistniona. T-wo rozporządzało naogół niewielkimi funduszami, składki członkowskie i nieczęste zresztą dary stanowiły jedyną podstawę jego budżetu. W owym zaś czasie T-wo znalazło się w szczególnie trudnym położeniu; wydało obszerną „Historję ryb”, ozdobioną wielu sztychami, która pochłonęła wszystkie zasoby T-wa i, zdaje się, spowodowała jego zadłużenie. Ciężar wydawnictwa spadł na Halleya<sup>1)</sup>, który podjął go z ochotą, mimo że wtedy właśnie z dużego jego majątku pozostały już tylko resztki. Newton o tem wiedział i dlatego też

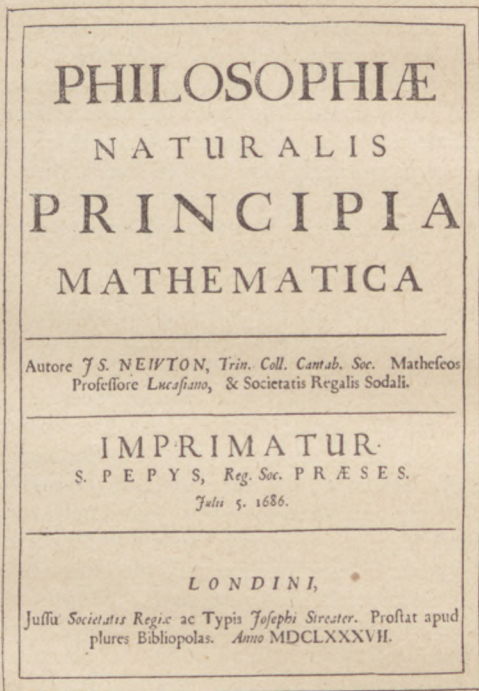
---

<sup>1)</sup> To też na egzemplarzu „Zasad” jest wydrukowane „iussu”, nie zaś „iussu et sumptibus Societatis Regiae” (na zlecenie i kosztem T-wa Królewskiego).

cofnął się przed zmianą tytułu i nawet po otrzymaniu nowego listu od Halleya, który starał się uspokoić Newtona, zgodził się na drukowanie trzeciej księgi swego dzieła i na wymienienie nazwiska Hooke'a, ale narówni z Wrenem i Halleyem jako tymi, co także zajmowali się zagadnieniami ruchu ciał niebieskich. Tem musiał się Hooke zadowolnić.

Cała ta wymiana listów z Halleyem w niczem nie opóźniała druku dzieła, którego części Newton stopniowo posyłał Halleyowi. Pierwsza księga została oddana pod prasę, zdaje się, w czerwcu 1686 r.; księga druga, którą Newton obiecywał przesłać w lecie, jeszcze w jesieni nie była wykończona. Dopiero 1 marca 1687 roku Newton zawiadamia Halleya o wysłaniu rękopisu dylizansem. Księga trzecia wysłana była w miesiąc później. Początkowo miała być napisana „methodo populari“ w ten sam prawdopodobnie sposób, jak wydany już po śmierci Newtona (w 1728 r.) „Układ świata, łatwym i przystępnym sposobem wyłożony“ (The System of the World demonstrated in an easy and popular manner). Ten jej charakter wysuwał Halley jako jeden z argumentów za jej utrzymaniem: „Zastosowanie pańskiej teorii matematycznej do teorii komet i wiele ciekawych doświadczeń, co, jak się domyślam z tego, co pan pisze, ma stanowić jej treść, uprzystępnia ją tym, którzy chcą się nazywać filozofami, nie znając matematyki, a takich jest o wiele więcej“. Pierwotna jednak redakcja została następnie zmieniona: teorie komet i ruchu księżycy uległy znacznemu rozszerzeniu, tak że rękopis przedstawiony T-wu 6 kwietnia 1687 r. i zatytułowany „De mundi systemate“ (o układzie świata) zawierał

„cały układ ruchów niebieskich zarówno drugorzędnych, jak i pierwszorzędnych planet, z teorią komet, którą wyjaśnia przykładem komety 1680—81,



Ryc. 24.

wykazując, że to, co się ukazywało rano w listopadzie, było tą samą kometa, jaką obserwowano w grudniu i styczniu wieczorem“.



W początku lipca, o ile można sądzić na podstawie dość niepewnych danych, 1687 r. ukazało się wreszcie to dzieło, które Halley ogłaszał jako „księgę wielce znakomitą“, autora zaś jej, „profesora matematyki w Cambridge Izaaka Newtona, za największego z geometrów, jacy kiedykolwiek istnieli“. Dzieło to na całe stulecie miało stać się opus magnum — dziełem wielkiem — fizyki.

---

## ROZDZIAŁ SZÓSTY.

### Określenia i pewniki.

*„De subiecto vetustissimo novissimam promovemus scientiam,“* (o najdawniejszym przedmiocie nową zupełnie przynosimy naukę).  
Galileo Galilei.

Wzorem Euklidesa poprzedził Newton trzy księgi swych „Zasad matematycznych filozofji przyrody“ (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) wstępem, zawierającym określenia i pewniki; miały one stanowić podstawę rozważań dalszych, odnoszących się „do ciężkości, lekkości, siły sprężystej, oporu cieczy i temu podobnych sił albo przyciągających albo odpychających“.

Na taki układ pewien wpływ wywarło doświadczenie, jakie wyniósł Newton z polemik, wywołanych przez poprzednie jego prace, gdy często spór toczył się nie na temat istotnej treści rozprawy, lecz z powodu tego lub innego źle lub niedokładnie zrozumianego jej ustępu. Szttywne matematyczne sformułowanie tez podstawowych, nadając reszcie twierdzeń cechę dedukcyjną, miało temu niebezpieczeństwu zapobiec. Ale był i drugi powód, o wiele ważniejszy; miał on źródło w samej treści „Zasad“, którą Newton przedstawia w sposób następujący. Określenia mają służyć do ścisłego ustalenia wielkości, jakie później będą używane;

„pewniki lub prawa ruchu” mają być podstawą „twierdzeń ogólnych, rozważanych w księdze pierwszej i drugiej”. W księdze zaś trzeciej twierdzenia te są stosowane do wyjaśnienia budowy świata. „Tam bowiem ze zjawisk niebieskich, na podstawie twierdzeń, udowodnionych w księgach poprzednich, wyprowadza się siły ciężenia, dzięki którym ciała dążą do słońca i do poszczególnych planet. Następnie z sił tych, przy pomocy twierdzeń również matematycznych, wynika ruch planet, komet, księżycy i morza”. Używając tego samego sposobu rozumowania (eodem argumentandi genere), możemy z pomocą zasad mechaniki wyjaśnić pozostałe zjawiska fizyczne. Wiele bowiem za tem przemawia, że wszystkie one zależą od jakichś sił, pod których działaniem „cząstki ciał na skutek nieznanych dotychczas przyczyn albo wzajemnie się uderzają i spajają w prawidłowe kształty albo też wzajem od siebie odstupują i odbiegają”. Z chwilą zaś, gdy istnieje możliwość takiego wyjaśnienia, wysunięcie na czoło „Zasad” założeń podstawowych staje się całkowicie zrozumiałe i usprawiedliwione; usuną one z dalszych wywodów wszelką dwuznaczność i nadadzą im pożądaną spójność. Nie będą one miały oczywiście tej mocy, co twierdzenia, wynikające z określeń, pewników i postulatów Euklidesa: istnieje bowiem pomiędzy pewnikami geometrii i fizyki pewna różnica uwarunkowana samą treścią rozpatrywanych zagadnień. Tę różnicę miał na myśli Newton, gdy pisał w przedmowie: „Cała... trudność filozofii na tem, zdaje się, polega, aby ze zjawisk ruchu wyznaczyć siły przyrody, następnie zaś z tych sił wyprowadzić (demonstrare) zjawiska pozostałe”.

„Określenia” i „pewniki” miały czynić zadość pierwszej części tego zadania filozofji, mieć swe źródło „w zjawiskach ruchu”, i ze zgodności z doświadczeniem wniosków „dokładnie postawionych i dowiedzionych” czerpać swe uzasadnienie. To też próżną byłoby rzeczą chcieć stosować do nich te same kryteria co do określeń i pewników geometrycznych. Niektóre z tych „określeń” zawierają to, co później odmiennymi słowami będzie powiedziane w „pewnikach”, inne są właściwie twierdzeniami, których uzasadnienie dają „pewniki i prawa”, tak że dopiero wszystkie razem wraz z „pewnikami i prawami” dają całkowity obraz tych założeń, które stanowią mechanikę Newtona.

Na pierwsze miejsce wysunięte jest określenie ilości materji. W ówczesnych rozważaniach mechanicznych pojęcie to odgrywało niewielką rolę. Dla Galileusza, który poprzestawał na rozpatrywaniu ruchów, zachodzących pod działaniem stałej siły ciężkości, a więc takich, w których przyspieszenie było dla wszystkich bez wyjątku ciał jednakowe, pojęcie to było zbyt ciche; dla Descartes'a materja nie posiadała żadnych cech szczególnych, któreby pozwalały odróżnić ją od przestrzeni. W mechanice Newtona, gdzie prawa Galileusza są uogólnione na działanie sił dowolnych, stałych i zmiennych, których jeżeli już nie źródłem, to w każdym razie koniecznym warunkiem istnienia jest obecność materji, pojęcie to staje się jednym z pojęć podstawowych. Ono też przede wszystkim, jako może najbardziej obce fizyce ówczesnej, wymaga określenia. Newton nadaje mu postać następującą: „Miarą ilości materji jest jej gęstość łącznie z wielkością” (Quan-

titas Materiae est mensura eiusdem orta ex illius Densitate et Magnitudine conjunctim).

To pozornie bardzo ściśle określenie, przez podanie sposobu pomiaru nadające odrazu nieokreślonemu pojęciu cechy wielkości fizycznej, jest oparte na niewypowiedzianem zresztą nigdzie założeniu, że pomiar gęstości ciała może być, podobnie jak pomiar jego objętości (wielkości — magnitudinis), wykonany niezależnie od pomiaru „ilości materji“.

Możliwość taka łączyła się, być może, w umyśle Newtona z ogólnymi jego poglądami na budowę materji, wyłożonemi w księdze trzeciej „Zasad“; a do których wróci jeszcze w „Pytaniach“ (Quaestiones) „Optyki“. Poglądom tym dał już wyraz w swej rozprawie o barwach cienkich warstewek; pisał tam, że ciała składają się z cząstek, oddzielonych od siebie przestrzeniami pustymi lub też wypełnionemi środowiskiem o mniejszej niż cząstki gęstości i że czasem, gdy „mikroskopy będą znacznie udoskonalone“, będziemy mogli cząstki te widzieć<sup>1)</sup>. Wtedy policzenie cząstek, zawartych w jednostce objętości, pozwoli wyznaczyć gęstość niezależnie od masy. Że taki obraz Newton miał przed oczami, pisząc swe „Określenie pierwsze“, widać choćby z następującego ustępu, wyjaśniającego określenie ilości materji. „Środowiska, o ile ono istnieje, swobodnie przenikającego w przerwy między cząstkami, wcale nie uwzględniam.“ Niema ono bowiem, jak to zresztą później Newton udowodni, żadnego znaczenia mechanicznego, może więc być uważane za mechanicznie bierne, a co za

<sup>1)</sup> P. rozdział czwarty.

tem idzie, za nieistniejące. W zjawiskach mechanicznych odgrywają rolę jedynie cząstki, z których się składa ciało, a które razem dają „ilość materji“ lub „ciało“ lub „masę“. Wielkość tę, zgóry zaznacza Newton, można również wyznaczyć z ciężaru danego ciała. „Znalazłem bowiem z najdokładniej (acuratissime) wykonanych doświadczeń nad wahałem, że jest ona proporcjonalna do ciężaru, jak o tem później będzie mowa“.

Znaczenie masy ujawnia się odrazu przy określeniu następnej wielkości — ilości ruchu. Pojęcie to Newton wziął prawdopodobnie od Descartes'a, w którego mechanice odgrywało bardzo wielką rolę<sup>1)</sup>, i dał mu analogiczne do kartezjuszowskiego określenie: „Miarą ilości ruchu jest jej prędkość łącznie z ilością materji“ (*Quantitas Motus est mensura eiusdem orta ex Velocitate et Quantitate Materiae coniunctim*), rozumiejąc jednak przez ilość materji nie objętość, jaką ciało zajmuje, lecz zgodnie z określeniem pierwszym wielkość proporcjonalną do iloczynu objętości przez gęstość.

Z pojęciem ilości ruchu wiąże się u Newtona pojęcie siły, jak to później stwierdzi drugi „pewnik lub prawo ruchu“, wobec czego przechodzi Newton do jej określenia. Rozróżnia dwa rodzaje sił. Do pierwszego należą t. zw. „siły przyrodzone materji“ (*vires insitae*). Newton określa je jako „moc oporu, dzięki której dowolne ciało, o ile jest samo w sobie, trwa w stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego wzdłuż linii prostej“ (*Materiae vis insita est potentia resistendi, qua corpus unum-*

<sup>1)</sup> P. rozdział drugi.

quodque, quantum in se est, perseverat in statu suo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum).

Istnienie tych sił Newton uzasadnia w ten sam sposób, jak Descartes, który sporo miejsca im poświęca w „Zasadach filozofji”. Descartes, nadając pojęciu „sił przyrodzonych” obszerniejszą niż Newton wykładnię, widział ich działanie „w tem, że każda rzecz, o ile jest sama w sobie, dąży do pozostawania w tym stanie, w jakim się znajduje”, a więc, o ile chodzi o zjawiska ruchu, w tem, aby „to, co spoczywa, trwało w swym spoczynku i wskutek tego opierało się temu wszystkiemu, co może go zmienić; aby to, co się porusza, trwało w swym ruchu, to znaczy, w ruchu o tej samej prędkości i w tym samym kierunku”. Newton, niewiele zmieniając istotną treść słów Descartes’a, wyjaśnia, że „ciało wywiera tę siłę jedynie przy zmianie swego stanu, zachodzącej wskutek innej przyłożonej (impressa) siły; ujawnienie się [tej siły przyrodzonej] może być zależnie od punktu widzenia i oporem i popędem (impetus): oporem, o ile ciało dla zachowania swego stanu sprzeciwia się sile przyłożonej; popędem, o ile to samo ciało stara się zmienić stan przeszkody, której siła oporu z trudem ustępuje. Zazwyczaj przypisuje się (vulgus tribuit) opór ciałom spoczywającym i popęd ciałom poruszającym się: ale ruch i spoczynek tak, jak są zwykle pojmowane, mogą być odróżniane tylko we wzajemnym stosunku; niezawsze bowiem spoczywają istotnie [te ciała], które uważane są naogół (vulgo) za spoczywające”.

Miara tej „siły przyrodzonej” jest jednak inna u Descartes’a, inna u Newtona. Descartes, dając

tym razem nieco dokładniejsze, niż zazwyczaj, jej określenie, uważa ją za zależną od wielkości ciała, od prędkości ruchu i od sposobu, w jaki ruch jest zmieniany. Dla Nęwtona „jest ona zawsze proporcjonalna do samego ciała i od bezwładności (inertia) masy różni się tylko sposobem ujmowania (modo concipiendi). Bezwładność materji sprawia, że każde ciało z trudem jest wytrącane ze swego stanu spoczynku lub ruchu. Stąd można nawet nadać sile przyrodzonej bardziej znaczącą nazwę (nomen significantissimum) siły bezwładności“. Należałoby wobec tego przypuszczać, że jest ona tem samem, co masa. Takiej jednak wykładni przeczy zarówno użyty termin „siła“, jak i cały przytoczony wyżej ustęp o przypadkach, w jakich siła przyrodzona się ujawnia. Ta niejasność określenia stąd, zdaje się, wynika, że samo pojęcie siły przyrodzonej nie było dla Newtona całkowicie jasne<sup>1)</sup> i że w działaniu tej siły mógł dostrzec tylko jedną cechę bezsporną, którą w swem określeniu wyraźnie zaznaczył, jej proporcjonalność do masy.

Od niejasności poprzednich określeń wolne jest określenie „siły przyłożonej“. „Siła przyłożona jest działaniem, wywieraniem na ciało dla zmiany jego stanu spoczynku lub ruchu jednostajnego w kierunku linii prostej“. (*Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum eius statum vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum*). Siła ta może być rozmaitego pochodzenia: powstać może „ze zderzenia, ciśnienia i siły dośrod-

<sup>1)</sup> P. rozdział ósmy.



kowej". Ten ostatni przypadek jest dla Newtona najważniejszy, „tego [bowiem] rodzaju jest ciężkość, dzięki której ciała dążą do środka ziemi“, i co ważniejsze, „ta siła, jakąkolwiekby była, która planety stale odchyła od ruchów prostoliniowych i zmusza je zataczać linje krzywe“. To też siłę tej Newton poświęca cztery pozostałe „określenia“ i stosunkowo obszernie je wyjaśnia. Przedewszystkiem ustala, co należy rozumieć przez siłę dośrodkową. Określa ją jako taką siłę, „przez którą ciała do jakiegokolwiek punktu lub środka ze wszystkich stron są ściągane, pędzone lub jakkolwiek dążą“ (*Vis Centripeta est, qua corpora versus punctum aliquod tanquam ad Centrum undique trahuntur, impelluntur, vel utcunque tendunt*). Przykładem najprostszym działania takiej siły jest ruch kamienia „obracanego w procy“; kamień taki „dąży do oddalenia się od obracającej ręki i dążeniem tem rozciąga procę“. „Siłę przeciwną temu dążeniu, przez którą kamień jest stale ściągany ku ręce i utrzymywany na kole, nazywam dośrodkową“. Działanie jej można stwierdzić na wszystkich obracających się ciałach. Gdyby siła ciężkości zniknęła, to pocisk „nie odchyliłby się ku ziemi, lecz oddalił się od niej wzdłuż linji prostej ku niebiosom; i to ruchem jednostajnym, jeżeliby tylko został usunięty opór powietrza. Na skutek swej ciężkości oddala się od prostoliniowego biegu i zbacza ciągle ku ziemi, i to więcej lub mniej, zależnie od swej ciężkości lub prędkości ruchu... Gdyby kula ołowiana była z pewną prędkością wyrzucona w kierunku poziomym z wierzchołka jakiejś góry siłą prochu armatniego, przebiegałaby, poruszając

się po linii krzywej, odległość dwu mil, zanimby spadła na ziemię: z podwójną prędkością przebiegałaby prawie dwa razy dłuższą [drogę], z dziesięć razy większą prędkością prawie dziesięć razy dłuższą: jeżeliby tylko został usunięty opór powietrza. Zwiększając prędkość, można dowolnie zwiększyć odległość, na którą [kula] będzie rzucona, i zmniejszyć krzywiznę linii, którą opisuje, tak aby upadła w odległości dziesięciu lub trzydziestu lub dziewięćdziesięciu stopni lub nawet, aby obeszła dookoła całą ziemię lub wreszcie, aby się oddaliła do niebios i ruchem oddalającym się odeszła w nieskończoność. I z tego samego powodu, dla którego pocisk może dzięki sile ciężkości odchylić się ze swej drogi i okrążyć całą ziemię, może i księżyc albo dzięki sile ciężkości, o ile jest ciężki, lub dzięki jakiegokolwiek innej sile, która go popycha ku ziemi, zbaczać stale z prostolinjowego biegu ku ziemi i odchyłać się na swej orbicie: bez takiej siły księżyc nie mógłby się utrzymać na swej orbicie. Gdyby siła ta była mniejsza niż potrzeba, nie dośchybiłaby odchyliła księżyc od prostolinjowego biegu; gdyby była większa niż potrzeba, więcejby odchyliła i sprowadziła [księżyc] z jego orbity ku ziemi. Stąd wynika, że musi mieć odpowiednią wielkość: jest rzeczą matematyków znaleźć siłę, która może utrzymać ciało dokładnie na danej orbicie z daną prędkością; i odwrotnie, znaleźć drogę krzywolinjową, na którą dana siła odchyli ciało, wychodzące z danego dowolnego miejsca z daną prędkością“.

Przy wykonywaniu tego rachunku będą oni zmuszeni uwzględnić trojakiemu rodzaju wielkości.

Mamy tu bowiem, że użyjemy terminu współczesnego, do czynienia z polem sił, rozłożonem promieniście około środka, będącego źródłem pola. Aby pole takie fizycznie wyznaczyć, nie wystarcza zmierzyć siłę, działającą na umieszczone w polu ciało, i znaleźć prawo, według którego wielkość jej zmienia się wraz z odległością od środka. Siła ta bowiem zależy również od wielkości, charakteryzującej to ciało, na które siła działa, w polu ciężkości np. od jego masy. Dopiero odniesienie jej do ciała o dokładnie oznaczonych własnościach, np. o jednostce masy lub naboju, a więc wyznaczenie t. zw. natężenia daje nam dokładniejszą miarę badanego pola. Natężenie bowiem zależeć będzie jedynie od odległości od środka i od własności ciała, wzbudzającego pole. Te własności, a raczej wyrażająca je wielkość — np. masa ciała przyciągającego — będzie trzecią wielkością, z którą mamy do czynienia w polu sił. Te trzy różnorodne wielkości Newton uważa za trzy różne rodzaje wartości siły dośrodkowej: bezwzględną, przyspieszającą i poruszającą. Pierwsza z nich może być „większa lub mniejsza według mocy przyczyny, która ją od środka dookoła rozprzestrzenia“ (*vis centripetae quantitas absoluta est mensura eiusdem maior vel minor pro efficacia causae eam propagantis a centro per regiones in circuitu*). W przypadku więc grawitacji jest ona miarą masy ciała przyciągającego. O masie jednak Newton w tem miejscu nic nie mówi i wyjaśnia określenie „ilości bezwzględnej“ na przykładzie nie grawitacji, lecz sił magnetycznych: „siła magnetyczna zależy od wielkości magnesu lub natęże-

nia mocy (virtutis) w jednym magnesie jest większa, niż w innym<sup>1)</sup>.

Ten przykład zachowany jest również w wyjaśnieniu określenia „ilości przyspieszającej“, która „jest proporcjonalna do prędkości, jaką w danym czasie wytwarza“ (*vis centripeta quantitas acceleratrix est ipsius mensura velocitatis proportionalis, quam dato tempore generat*); tam jednak jego charakter pomocniczy wyraźnie się ujawnia. Newton porzeka na zaznaczeniu, że „moc magnesu jest większa w mniejszej odległości, mniejsza w większej“ i, przechodząc od razu do siły ciężkości, pisze: „siła grawitacji większa jest w dolinach, mniejsza na wierzchołkach wysokich gór i jeszcze mniejsza (jak się to później okaże) w większych odległościach od kuli ziemskiej; w równych zaś odległościach jest ona wszędzie ta sama, gdyż, o ile pominiemy opór powietrza, jednakowo przyspiesza wszystkie spadające ciała (ciężkie i lekkie, duże i małe)“.

Ostatnia z rozpatrywanych wielkości „ilość poruszająca“ albo, „jak dla skrócenia można powie-

---

<sup>1)</sup> Wybór takiego przykładu jest dosyć zastanawiający, bezpośrednio bowiem doświadczenie nie pozwala na zaliczenie sił wywieranych przez magnes, do sił środkowych; istotnie, łatwo można sprawdzić, że kierunki sił działających nie przecinają się w jednym punkcie przetrzeni. Doświadczenia te na pewno nie były obce Newtonowi; w „Zasadach“ powołuje się niejednokrotnie na swe badania nad siłami magnetycznymi. Wzrost ianka w księdze 3-ciej, że siły te zmieniają się w stosunku odwrotnym do trzeciej potęgi odległości, wskazywałaby, że Newton wykonywał doświadczenia na małych magnesach, w których środek geometryczny może być bez wielkiego błędu uważany za środek sił.

dzieć" siła poruszająca jest „proporcjonalna do ruchu<sup>1)</sup>, jaki wytwarza w danym czasie" (*vis centripetae quantitas motrix est ipsius mensura proportionalis motui, quem dato tempore generat*), a więc stosunek jej do siły przyspieszającej jest taki, „jak prędkości do ruchu. Ilość bowiem ruchu powstaje z prędkości i ilości materji, siła zaś poruszająca z siły przyspieszającej łącznie z ilością tejże materji". W ten sposób siła poruszająca dotyczyć będzie ciał, dążących do środka, siła przyspieszająca — miejsc, jakie te ciała zajmują, siła bezwzględna — środka sił. „Są to pojęcia wyłącznie matematyczne. Nie roztrząsam bowiem ani fizycznych przyczyn sił — ani ich siedliska". Dlatego też nie należy brać zbyt dosłownie wprowadzonych terminów. „Wyrazów przyciąganie, popęd lub dążenie czegoś do środka używam narówni, zastępując jeden z nich drugim... To też niech czytelnik nie przypuszcza, abym tego rodzaju wyrazami jakkolwiek określał rodzaj lub sposób działania, przyczynę albo uzasadnienie fizyczne, lub przypisywał środkom (które są punktami matematycznymi) istotne siły fizyczne, gdy mówić będę, że środki przyciągają lub że są środkami sił".

Temi słowami, ograniczającymi pojęcie siły do roli dogodnego symbolu matematycznego, kończy Newton swe „określenia", których „celem było wyjaśnić, jak należy rozumieć mniej znane wyrazy". To jednak nie wystarczało. Wymagały również dokładniejszego omówienia i „dobrze naogół znane"

<sup>1)</sup> Newton używa często tego wyrazu w znaczeniu ilości ruchu.

pojęcia — czasu, przestrzeni, miejsca i ruchu — które „zazwyczaj są rozumiane tylko w związku z przedmiotami, podpadającymi pod zmysły. To zaś prowadzi do fałszywych sądów, dla których usunięcia należy w [wielkościach] tych rozróżnić [wartości] bezwzględne i względne, prawdziwe i pozorne, matematyczne i zwykłe (vulgares)“.

„Przestrzeń bezwzględna, z istoty swej nie pozostająca w żadnym związku z niczem zewnętrznym, zawsze pozostaje taka sama i nieruchoma. Względna jest jej miara lub jakikolwiek rozmiar ruchomy, który jest przez zmysły nasze wyznaczony z jego położenia w stosunku do ciał, i zazwyczaj brany jest za przestrzeń bezwzględną“. „Jeżeli np. ziemia się porusza, to przestrzeń naszego powietrza, która względem ziemi i w stosunku do niej zawsze pozostaje ta sama, będzie — to jedną częścią przestrzeni bezwzględnej, przez którą przechodzi powietrze, to inną; i tak będzie bezwzględnie ciągle się zmieniała“. Należy więc odróżnić ruch względny i bezwzględny. Nazwijmy miejscem tę część przestrzeni, którą zajmuje ciało; może być ono, podobnie jak przestrzeń, bezwzględnem i względnem. Jeżeli ciało przechodzi z jednego miejsca bezwzględnego do drugiego, ruch jego jest bezwzględny, jeżeli z miejsca względnego — względny.

„Tak na okręcie, który płynie z rozwiniętymi żaglami, względnem miejscem ciała jest ten obszar okrętu, w którym ciało przebywa, lub ta część całkowitego wydrążenia, którą ciało wypełnia i która porusza się razem ze statkiem: względnym spoczynkiem jest pozostawanie ciała w tym samym obszarze okrętu lub części wydrążenia. Spoczyn-

kiem zaś prawdziwym jest pozostawanie ciała w tej części owej nieruchomej przestrzeni, w której porusza się sam okręt wraz z wydrążeniem i ze wszystkim, co zawiera. Stąd, gdyby ziemia była istotnie w spoczynku, ciało, któreby było na okręcie w spoczynku względnym, poruszałoby się istotnie i bezwzględnie z tą samą prędkością, z jaką okręt porusza się na ziemi. Ponieważ jednak ziemia się porusza, prawdziwy i bezwzględny ruch ciała powstanie częściowo z prawdziwego ruchu ziemi w nieporuszającej się przestrzeni, częściowo ze względnego ruchu okrętu na ziemi: a jeżeli ciało jest na okręcie we względnym ruchu, prawdziwy jego ruch powstanie częściowo z prawdziwego ruchu ziemi w nieporuszającej się przestrzeni, częściowo z ruchów względnych tak okrętu na ziemi jak ciała na okręcie; z tych ruchów względnych powstanie też względny ruch ciała na ziemi“.

Poznanie ruchów bezwzględnych i odróżnienie ich od ruchów pozornych jest rzeczą niezwykle trudną (*difficillimum*). Bezwzględnych bowiem miejsc „nie można ani zobaczyć ani odróżnić przy pomocy zmysłów; zamiast nich używamy miar, podpadających pod zmysły. Wyznaczamy miejsca w przestrzeni z położenia i odległości przedmiotów od jakiegoś ciała, które przyjmujemy za nieruchome; następnie zaś i wszystkie ruchy rozpatrujemy względem wyżej wymienionych miejsc... Używamy tedy względnych miejsc i ruchów — zamiast bezwzględnych, co nie jest bez wygody w stosunkach codziennych, w filozofji jednak musimy się oderwać od naszych zmysłów. Może się bowiem zdarzyć,

że w rzeczywistości nie spoczywa żadne ciało, do którego moglibyśmy odnieść i miejsca i ruchy“.

Wobec tego możnaby przypuszczać, że niema żadnych sposobów doświadczalnych wyznaczenia ruchu bezwzględnego. Newton jednak takiego wniosku nie wyciąga. „Sprawa nie jest całkowicie rozpaczliwa. Można zaczerpnąć dowody bądź z ruchów pozornych, które są różnicami ruchów prawdziwych, bądź z sił, które są prawdziwych ruchów przyczynami i skutkami“. „Prawdziwy ruch powstaje lub zmienia się jedynie na skutek sił, przyłożonych do samego poruszającego się ciała; ruch zaś względny może powstać lub zmienić się bez sił przyłożonych do tego ciała. Wystarczy bowiem, aby siła była przyłożona tylko do tych ciał, do których [dane ciało] jest odniesione; gdy ciała te ustąpią, zmieni się ów stosunek, na którym polega jego względny spoczynek lub ruch“.

W ten sposób Newton, nie mówiąc tego wyraźnie, nadaje zjawiskom ruchu inne niż poprzednio znaczenie. Nie ze zmian ruchu ciała wnioskujemy o istnieniu siły, lecz przeciwnie istnienie siły pozwala nam odróżnić ruch bezwzględny od względnego. Siła zatem, nie zaś prędkość lub przyspieszenie, staje się w gruncie rzeczy wielkością podstawową mechaniki newtonowskiej, wielkością bezwzględną.

Ta cecha siły pozwala Newtonowi w jednym przynajmniej przypadku — w przypadku ruchu obrotowego — odróżnić, ostatecznie, jak sądził, ruch prawdziwy od względnego. Za punkt wyjścia bierze on następujące doświadczenie.

„Zawieśmy na bardzo długiej nici wiadro (situla) i wprawmy je w ruch kołowy, dopóki nić na skutek



skręcenia nie stanie się sztywną; następnie napełnijmy je wodą i zostawmy je razem z wodą w spoczynku; wtedy niech nagle jakaś siła nada mu ruch kołowy w przeciwnym kierunku; ponieważ nie będzie się rozkręcała, wiadro będzie dłużej trwało w tym ruchu; powierzchnia wody będzie początkowo płaska, tak jak przed ruchem naczynia, następnie naczynie zdoła wskutek stopniowo na wodę działającej siły nadać jej dostrzegalny obrót; odstąpi ona nieco od środka i podniesie się ku brzegom naczynia, przybierając kształt wklęsły (jak to stwierdziłem doświadczalnie) i przy coraz prędszym ruchu będzie się podnosiła coraz bardziej i bardziej, dopóki nie zacznie wykonywać obrotów w tym samym czasie, co naczynie; wtedy będzie w niem we względnym spoczynku. To wzniesienie wskazuje na dążność oddalania się od osi ruchu i przez to dążenie ujawnia i mierzy prawdziwy i bezwzględny kołowy ruch wody, całkowicie przeciwny ruchowi względnemu. Początkowo, gdy ruch względny wody w naczyniu był największy, ruch ten nie wzbudzał dążności do oddalania się od osi: woda nie dążyła do obwodu koła, podnosząc się ku brzegom naczynia, lecz pozostawała płaską, dlatego że jeszcze się nie rozpoczął jej prawdziwy ruch kołowy. Później jednak, gdy względny ruch wody się zmniejszył, jej podniesienie się ku brzegom naczynia wskazało na dążność oddalenia się od osi; i to dążenie dowodziło, że prawdziwy jej ruch kołowy stale wzrasta i staje się największym, gdy woda w naczyniu jest we względnym spoczynku. Wobec tego dążenie to nie zależy od przesunięcia się wody względem ciał otaczających i dlatego też

nie można określić prawdziwego ruchu kołowego z takich przesunięć. Ruch istotnie prawdziwy każdego obracającego się ciała jest jedyny, odpowiada on jednemu dążeniu, jakby właściwej i równoważnej mocy; ruchy zaś względne są, według różnej zależności od [ciał] zewnętrznych, niezliczone“.

Stwierdzenie przeto takiego „dążenia“ pozwala wyznaczyć bezwzględny ruch obrotowy. „Gdy dwie kule, znajdujące się w pewnej od siebie odległości i połączone nicią, obracają się dookoła wspólnego środka ciężkości, natężenie nici ujawnia dążenie kul do oddalania się od osi i pozwala obliczyć ilość ruchu kołowego. Następnie, jeżeli do przeciwnych stron kul przyłożymy jednocześnie jakiegokolwiek równe siły dla zwiększenia lub zmniejszenia ruchu kołowego, to w zwiększeniu lub zmniejszeniu natężenia nici ujawni się zwiększenie lub zmniejszenie ruchu; stąd zatem można znaleźć te strony kul, do których powinny być przyłożone siły, aby ruch jak najbardziej się zwiększył, to jest, strony tylne lub te, które w ruchu kołowym idą następne. Gdy więc znamy strony, które idą następne, i przeciwne im strony, które poprzedzają, możemy wyznaczyć ruch. W ten sposób można znaleźć i ilość i kierunek (determinatio) tego ruchu kołowego w jakiegokolwiek próżni niezmierzonej, gdzie nie istnieje nic zewnętrznego i podpadającego pod zmysły, do czegooby można odnieść kule“.

Wniosek ten na pierwszy rzut oka wydaje się bezsporny. Dopiero, rozpatrując go nieco uważniej, spostrzegamy, że jest on śmiałym uogólnieniem doświadczenia poprzedniego na przypadek, doświadczalnie niesprawdzony, i co więcej, do sprawdzenia

niemożliwy. Pomijając nawet łatwy, ale mimo to istotny zarzut, że „w próżni niezmierzonej, gdzie nie istnieje nic zewnętrznego“, pojęcie kierunku staje się czemś zupełnie nieoznaczonym, a działanie siły zewnętrznej — czemś niemożliwym, możemy poddać w wątpliwość ostateczny wniosek i z innych jeszcze powodów. W doświadczeniu poprzednim wklęsły kształt powierzchni wody tworzył się wtedy, gdy woda istotnie była w spoczynku względem ścian naczynia, ale tylko względem tych ścian. Względem ścian pokoju, ziemi, gwiazd stałych była i wtedy w ruchu. Wniosek Newtona jest przeto założeniem, że gdy usuniemy wszystkie te ciała, powierzchnia wody zachowa swoją poprzednią wklęsłość. Ale na to niema żadnych dowodów; a więc niema również dowodów na to, że jest rzeczą możliwą wyznaczyć ruch bezwzględny, „miejsca bezwzględne“, a choćby tylko je pojąć.

To też i Newton, gdy przechodzi do rozważań fizycznych, nieoznaczone pojęcia „miejsc bezwzględnych“ zastępuje w gruncie rzeczy układem fizycznie oznaczonym — układem gwiazd stałych „coela incorruptibilia“ (nieskazitelne niebiosy) starożytnych. Ten układ ma w istocie na myśli, gdy wyjaśnia doświadczenie z obracającym się wiadrem; ten układ w jego rozważaniach jest podstawowym układem odniesienia, pozwalającym w prosty sposób wyznaczyć ruchy ciał niebieskich; ten układ nadaje określone znaczenie jego prawom ruchu. Ale dla Newtona jest on jedynie przybliżonym odтворzeniem układu bezwzględnego, takim, jakie słabe nasze zmysły mogą sobie wyobrazić i zrozumieć. Obok niego, a raczej ponad nim istnieje

układ doskonały — bezwzględny. Pewność, że tak jest, czerpie Newton z głębokiego wyznania wiary, które zawarte jest w końcowem „Scholium generale”<sup>1)</sup>. „Jeżeli gwiazdy stałe są środkami podobnych [do słonecznego] układów, wszystkie one, zbudowane w podobny sposób (*simili consilio*) podlegają władzy Jednego... [który] jest wieczny i nieskończony, wszechpotężny i wszystkowiedzący, trwa od wieczności do wieczności, i jest obecny od nieskończoności do nieskończoności: wszystkiem rządzi, i wszystko wie, co się staje lub stać może. Nie jest wiecznością i nieskończonością, lecz jest wieczny i nieskończony; nie jest trwaniem i przestrzenią, lecz trwa i jest. Trwa zawsze i jest wszędzie i dla istnienia zawsze i wszędzie ustanowił trwanie i przestrzeń”.

Tu również, nie zaś w rozważaniach fizycznych, należy szukać źródła pojęcia czasu bezwzględnego.

„Czas bezwzględny, pisze Newton w tej samej „Scholii”, w której omawia zagadnienie bezwzględnej przestrzeni, prawdziwy i matematyczny, w sobie i w istocie swojej bez związku z czemkolwiek zewnętrznem, upływa jednostajnie (*aequabiliter*), i nazywany jest inaczej trwaniem (*duratio*): względny, pozorny i zwykły (*vulgare*) jest podpadająca pod zmysły i zewnętrzną trwania miarą (dokładną lub niedokładną), opartą na ruchu; tej miary zazwyczaj używamy zamiast prawdziwego czasu; jak godzina, dzień, miesiąc i rok”.

<sup>1)</sup> stanowiącym zakończenie trzeciej księgi „Zasad”.

Miary te nie odtwarzają z należytą ścisłością czasu bezwzględnego, i jest nawet „możliwe, że niema ruchu równomiernego, któryby dokładnie mierzył czas. Wszystkie ruchy mogą przyspieszać się lub opóźniać; upływanie zaś czasu bezwzględnego zmienić się nie może“. Trwanie bowiem „istnienia rzeczy“ jest zawsze takie samo, „czy ruchy są prędkie, czy powolne, czy wreszcie, gdy niema ich wcale“. To też do pomiarów czasu, przez nas wykonywanych, należy wprowadzać poprawki. Newton pobieżnie tylko wspomina, że można to zrobić na podstawie równań czasu, którymi posługują się astronomowie, „aby ruchy niebieskie mierzyć prawdziwszym czasem (ex veriore tempore)“. W jaki sposób można to osiągnąć, o tem Newton nic zupełnie nie mówi; przytacza jedynie parę zjawisk astronomicznych, z których wynika konieczność wprowadzenia poprawek do zazwyczaj używanych miar czasu. Te poprawki są dla niego jakgdyby dowodem, że jakkolwiek czas względny w przybliżeniu zaledwie odpowiada czasowi bezwzględnemu, to jednak zasadniczo jest rzeczą możliwą zmniejszać coraz bardziej odstępstwa między jednym czasem i drugim, nieograniczenie przybliżać się do wyznaczenia niezmiennego „porządku następstw“. „W czasie mieści się wszystko w porządku następstwa (ordinem successionis), w przestrzeni w porządku położenia (ordinem situs)“. Dwa te pojęcia „czas bezwzględny“ i „przestrzeń bezwzględna“ są więc całkowicie od siebie niezależne. Związek pozorny, jaki między nimi ustalają zjawiska ruchu, wynika tylko z metod pomiaru czasu względnego. Idealny pomiar

będzie od pojęć przestrzennych niezależny. To rozumowanie, które pozwalało rozważać prawa mechaniki tak, jakgdyby ów pomiar doskonały był już wykonany, i nie uwzględniać istotnej podstawy, na której opiera się każde wyznaczanie czasu, nie mogło w mechanice Newtona doprowadzić do żadnych sprzeczności. Czas bowiem odgrywa w niej rolę wielkości pomocniczej: siły w niej działające są od czasu całkowicie niezależne, działania ich, jak to milcząco zakłada Newton, są natychmiastowe. Dopiero uogólnienie praw tej mechaniki na działania, nie czyniące zadość tym dwu podstawowym warunkom, zmusiło fizyków do ponownego rozpatrzenia newtonowskich poglądów na czas i przestrzeń. Ale to nastąpiło przeszło w dwieście lat później.

Druga obszerniejsza część wstępu zawiera trzy „pewniki lub prawa ruchu” (axiomata sive leges motus) i omówienie wypływających z nich wniosków. Prawo pierwsze wyraża zasadę bezwładności: „ciało każde trwa w swym stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego w kierunku linii prostej, o ile siła przyłożona nie zmusi go do zmiany tego stanu” (*corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare*). Newton w paru zaledwie zdaniach wyjaśnia to prawo, powołując się między innymi na ruch pocisków, które „trwają w swych ruchach, o ile nie opóźni ich opór powietrza i siła ciężkości nie zepchnie ich nadół”. Te kilka słów wyrażały głęboką zmianę poglądów na istotę ruchu, jaka zaszła w krótkim stosunkowo czasie. Takiego bo-

wiem wyjaśnienia ruchu rzuconego ciała nie znała nauka starożytna. Można twierdzić, że nietylko szkoła Arystotelesa, lecz nawet zwalczająca ją

---



---

## A X I O M A T A S I V E L E G E S M O T U S

---

### Lex. I.

*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.*

**P**rojectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resistentia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohaerendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari nisi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatiis minus resistentibus factos conservant diutius.

### Lex. II.

*Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur, si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel oblique oblique adjicitur, & cum eo secundum utriusq; determinationem componitur.

### Lex. III.

### Ryc. 25.\*

atomisci za ruch „prosty“ uważali nie ruch prostoliniowy, lecz kołowy, i zakładali, że tylko ciało,

podlegające działaniu stałej siły, porusza się ze stałą prędkością. Poglądy te, poparte codziennem doświadczeniem, wykazującym, że każde ciało ziemskie, pozostawione samo sobie, przestaje się wkońcu poruszać i że jedynym ruchem wiecznym jest kołowy ruch ciał niebieskich, przetrwało przez całe wieki. Jeszcze dla Kopernika ruch kołowy jest ruchem „prostym“ (simplex), w którym „ciało proste pozostaje w swem przyrodzonym<sup>1)</sup> miejscu i w swojej jedności“. On to właśnie jest „w całości podobny do spoczynku“. Przeciwwstawieniem jego jest ruch prostoliniowy, którego typem jest spadanie ciała nadół. Ciała, znajdujące się w takim ruchu, „wędrują ze swego miejsca przyrodzonego“. Według Keplera bezwładność (inertia) ciała przeciwwstawia się ruchowi, jest ona „przyczyną, pozbawiającą ruch mocy“ (causa privativa motus). „Kule gwiazdziste, pisze on w swem „Streszczeniu astronomji kopernikańskiej“, są tego rodzaju, że pozostawałyby w spoczynku w każdym miejscu nieba, w któreby się znalazły, gdyby nie były ciągnione“.

Stopniowo jednak tu i owdzie zjawiały się zaczątki innego ujmowania zjawisk mechanicznych. Można je znaleźć w pismach kardynała Mikołaja Kuzańskiego (1401—1461), w nieogłoszonych drukiem poglądach Leonarda da Vinci (1452—1519), które podchwytywało i bez skrupułu podawało za swoje wielu ludzi, jak np. głośny matematyk Hieronim Cardanus (1501—1576), wreszcie u Benedettiego (1530—1590), rozpatrującego drogę kamienia, wy-

<sup>1)</sup> P. rozdział drugi.



rzuczonego z procy, jako wypadkową drogi prostoliniowej i drogi przebytej pod działaniem ciężkości. Ale i Benedetti uważał, że ruch w kierunku poziomym powoli zanika i że to właśnie powoduje ostatecznie opadnięcie ciała na ziemię.

Dopiero Galileusz dał dokładne wyjaśnienie tego zjawiska. W wydanych w 1632 r. „Dialogach o dwu największych układach świata, ptolomeuszowskim i kopernikańskim“ (Dialogo di Galileo Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano) znajduje się taki ustęp: „Sagrado. Ale gdyby armata była postawiona nie prostopadle, lecz w jakąś stronę pochyło, to jaki powinien być ruch kuli? Czy poszłaby ona tak, jak przy innym wystrzale, wzdłuż linii prostopadłej i wróciłaby następnie tą samą drogą? Simplicio. Tegoby nie zrobiła, lecz po wyjściu z armaty trwałaby w swoim ruchu wzdłuż linii prostej, tworzącej przedłużenie kierunku lufy, o ileby własny jej ciężar nie odchyłał jej od tego kierunku ku ziemi“.

W „Rozmowach i dowodzeniach matematycznych“ zagadnienie to obszerniej jest omówione. Po rozpatrzeniu ruchu ciała wzdłuż równi pochyłej i stwierdzeniu, że przy spadaniu wzdłuż równi ciało porusza się ruchem przyspieszonym, przy podnoszeniu się zaś ruchem opóźnionym, Galileusz zwraca uwagę, że „stopień prędkości, który wykazuje ciało, jest w niem przez samą jego przyrodę nienaruszalnie zawarty (indelebiter impressus), dopóki nie zjawią się zewnętrzne przyczyny przyspieszenia lub opóźnienia, co zachodzi jedynie na płaszczyźnie poziomej, gdyż na równiach obniżających

jących się (in planis declivibus) ujawnia się już przyczyna większego przyspieszenia, na równiach wznoszących się (in acclivibus) — opóźnienia. Stąd wynika, że ruch w [kierunku] poziomym jest jakby wieczny: jeżeli jest równomierny, nie zmniejsza się ani słabnie, a tem mniej ustaje". W dniu czwartym „Rozmów", poświęconym ruchowi ciała rzucanego, Galileusz raz jeszcze wraca do tego zjawiska, biorąc wnioski poprzednio wyprowadzone za ustalony i udowodniony punkt wyjścia swych rozważań: „Gdy ciało porusza się poziomo, nie doznając żadnego oporu, to, jak wynika ze wszystkiego uprzednio powiedzianego i dokładnie wyjaśnionego, ruch ten jest jednostajny i wiecznie trwa na płaszczyźnie nieograniczonej; jeżeli jednak płaszczyzna jest ograniczona, ciało zaś jest ciężkie, to będzie się ono po dojściu do końca płaszczyzny poziomej poruszało dalej i do jego równomiernego niezniszczalnego ruchu dołączy się ruch, wzbudzony przez ciężkość, tak że powstanie ruch złożony, który nazywam rzutem i który składa się z jednostajnego ruchu poziomego i z jednostajnie przyspieszonego".

To zachowanie prędkości ciała, nie poddanego działaniu siły, jest zresztą milcząco założone przy rozpatrywaniu swobodnego spadku ciała, gdzie działanie stałej siły ciężkości ujawnia się nie w zmianie położenia ciała, lecz w stałym przyroście prędkości. Ogólnego jednak sformułowania zasady bezwładności Galileusz nie dał. Z rozważań jego można było wyciągnąć ten tylko wniosek, że gdyby ciała ziemskie nie podlegały sile ciężkości, poruszałyby się względem ziemi, uważanej za nieru-

chomą, ruchem jednostajnym i prostoliniowym, o ileby nie napotykały oporu lub przeciwdziałania innych ciał. Wniosek ten Newton, dla którego ciężar ciał ziemskich był tylko szczególnym przejawem sił, działających w układzie słonecznym, uogólnił na ruchy planet i wyraził w sposób, odpowiadający uogólnionemu również pojęciu siły. Wzór takiego sformułowania mógł wziąć od Descartes'a, dla którego trwanie ciała w ruchu prostoliniowym było bezpośrednim wynikiem ogólnej zasady zachowania.

Z pierwszego prawa przyrody, jak zasadę tę nazywał Descartes, wynikało drugie, że „jakakolwiek część materji, rozpatrywana oddzielnie, nigdy nie dąży do poruszania się wzdłuż linii krzywych, lecz tylko wzdłuż prostych“, co w połączeniu z prawem zachowania odpowiadało mniej więcej pierwszemu prawu Newtona. Fizyczna jednak treść prawa Descartes'a była dość nieokreślona. W jego mechanice istniały jedynie ruchy względne, kształt zaś drogi takich ruchów zmienia się w zależności od ruchu ciał, względem których dany ruch rozpatrujemy, innymi słowy, w zależności od ruchu układu odniesienia. Ruch prostoliniowy względem jednego układu może być krzywoliniowym względem drugiego. Descartes nigdzie nie wyjaśnia, jaki ma być ów wyróżniony układ, względem którego obowiązuje drugie prawo. Tej nieoznaczoności u Newtona niema. Układem odniesienia są „bezwzględne miejsca“ bezwzględnej przestrzeni, w istocie zaś niebo gwiazd stałych. Ciało, nie podlegające działaniu żadnej siły, będzie względem tego właśnie układu poruszało się jedno-

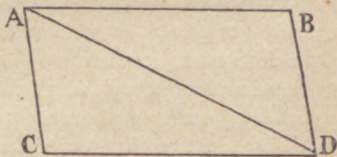
stajnie wzdłuż linii prostej. Każda więc zmiana tego ruchu będzie dowodem działania siły i może wobec tego być jej miarą. „Zmiana ruchu jest proporcjonalna do przyłożonej siły poruszającej i zachodzi według linii prostej, wzdłuż której siła ta jest przyłożona“ (*mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae et fieri secundum lineam rectam, qua vis illa imprimitur*).

Drugie prawo Newtona zawiera jednak coś więcej, niż proste sformułowanie wniosku z prawa pierwszego; zmiana bowiem ruchu oznacza tutaj nie zmianę prędkości, lecz zmianę ilości ruchu. Wprowadzona jest tedy nowa wielkość — masa ciała, którą zgódnie z określeniem pierwszym możemy wyznaczyć w sposób niezależny od jakichkolwiek założeń mechanicznych. Wielkość siły jest związana z wielkością masy, na którą działa i tylko w związku z nią może być rozumiana; dotyczy to zresztą nie tylko ciała, na które siła działa, lecz również samego źródła siły: na dane ciało może działać tylko inne ciało i to działanie stanowi właśnie istotę siły. Na tem założeniu opiera się prawo trzecie: „Działaniu zawsze przeciwne i równe jest oddziaływanie: innemi słowy, wzajemne działania dwu ciał są zawsze równe i skierowane w stronę przeciwną“ (*Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi*). Newton wyjaśnia to paru przykładami: „Gdy kto pcha lub ciągnie drugiego, jest przez tamtego w tej samej mierze (*tantundem*) pchany lub ciągniony. Gdy koń ciągnie kamień uwiązany na sznurze, cofany jest na-

równi i koń (że tak powiem) w kierunku kamienia: lina bowiem z dwu stron rozciągana dążeniem swem do zwolnienia [napięcia] popycha konia ku kamieniowi i kamień ku koniowi, i o tyle przeskadza posuwaniu się jednego, o ile przyczynia się do posuwania drugiego“. „Działaniami tym równe są zmiany nie prędkości, lecz ruchów... zmiany bowiem prędkości, zachodzące w przeciwnych kierunkach, są wobec tego, że ruchy porówny się zmieniają, odwrotnie proporcjonalne do ciał“.

To krótkie objaśnienie uważał jednak Newton za niewystarczające i raz jeszcze wrócił do prawa „działania i oddziaływania“ w „Scholii“, stanowiącej zakończenie wstępu „Zasad“. „Scholię“ tę poprzedza sześć wniosków (corollaria).

Dwa pierwsze dotyczą składania i rozkładania sił. Dla Newtona twierdzenie równoległoboku jest prostym wnioskiem z drugiego prawa ruchu, według którego działanie sił jest wzajemnie niezależne, tak że jedna z sił „w niczem nie zmienia prędkości... wytworzonej przez siłę inną“. Zadanie przeto sprowadza się do składania dwu prędkości, co już nie nastęrcza żadnych szczególnych trudności.



Ryc. 26.

Niech jedna z sił  $N$ , przyłożonych „w miejscu  $A$ “ (in loco  $A$ ), ma kierunek  $AC$  lub równoległy do niego  $BD$ , druga  $AB$  lub  $CD$ . „Ciało dojdzie w tym samym czasie do linii  $BD$ , bez względu na to, czy [druga] siła  $N$  jest przyłożona, czy też

nie jest; wskutek tego przy końcu tego czasu zjawi się gdzieś (alicubi) na tej linii BD. Z tego samego powodu w końcu tego samego czasu zjawi się gdzieś na linii CD, i co za tem idzie, musi się zjawić na przecięciu tych dwu linii w D. Porusza się zatem ruchem prostoliniowym od A do D...“

W ten sposób otrzymaną regułę Newton stosuje do znalezienia warunków, w jakich może zachodzić równowaga dwu ciał ciężkich, zawieszonych w dowolny zresztą sposób na promieniach koła ruchomego (rota), i zaznacza, że można taki „podział sił“ (divisio virium) zastosować i do śruby, „która nie jest niczem innym, jak klinem, poruszonym przez dźwignię“. Te przykłady stanowią dla niego dowód „oczywistego pożytku“ reguły równoległoboku, a jednocześnie dają uzasadnienie jej słuszności; z jej bowiem pomocą można było w prosty sposób rozpatrzyć przypadki, „na których wspiera się cała mechanika, w tak różnorodny sposób wykładana przez [różnych] autorów“. Cały ten ustęp, stanowiący treść „wniosku drugiego“, wskazuje wyraźniej jeszcze, niż wywody poprzednie, że w mechanice Newtona, podobnie jak i u Galileusza, niema zasadniczej różnicy między siłą, działającą na ciało w równowadze (statyczne pojęcie siły), a siłą, powodującą przyspieszenie ruchu ciała (dynamiczne pojęcie siły). Wyobraźmy sobie ciało ciężkie w spoczynku. Ciężar tego ciała, siłą działającą na to ciało, można zmierzyć czy to napięciem nici, na której ciało jest zawieszone, czy też ciśnieniem, wywieranem na podstawę. Gdy przerwiemy nić lub usuniemy podstawę, ciało zacznie się poruszać pod działaniem tej samej siły, która działała na

nie w czasie jego spoczynku; zmienia się tylko jej miara, którą obecnie wyraża drugie prawo ruchu. Jest jednak rzeczą oczywistą, że dwie te miary — statyczna i dynamiczna — są sobie równoważne; możemy zawsze przejść od jednej do drugiej, albo zatrzymując ciało i mierząc wywierane przez siłę ciśnienie czy napięcie, albo przeciwnie, uwalniając ciało i pozwalając mu się poruszać. Pomiar dynamiczny siły jest, zgodnie z pierwszym prawem ruchu, niezależny od nabytej pod działaniem danej siły prędkości, możemy przeto zawsze założyć, że pomiar ten jest wykonywany w chwili, gdy ruch danego ciała się rozpoczyna, a więc w chwili, gdy dane ciało wytrącone jest ze stanu spoczynku. W tem oświetleniu, które nie było obce poprzednikom Newtona, zagadnienia równowagi stają się granicznym przypadkiem zagadnień dynamicznych. Jeżeli układ ciał ciężkich znajduje się w równowadze na skutek działania siły, równej i przeciwnie skierowanej do wypadkowej wszystkich ciężarów, to usunięcie działania siły równoważącej wywoła ruch w kierunku, wyznaczonym przez kierunek wypadkowej, z przyspieszeniem, wyznaczonym przez jej wartość. Odwrotnie, gdy układ taki będziemy chcieli utrzymać w spoczynku, będziemy musieli przyłożyć siłę, której kierunek i wielkość będą wyznaczone przez kierunek i wielkość wypadkowej. Rozwiązania statyczne sprowadzają się więc do dynamicznych, w mechanice Newtona wysuniętych na plan pierwszy<sup>1)</sup>. Z nich przeto

<sup>1)</sup> Niezawsze to jednak jest możliwe; działanie np. t. zw. sił oporu, występujących podczas ruchu ciał, nie ma swej miary statycznej.

Newton wyprowadza wnioski, dotyczące równowagi ciał. Dowodu takiego ujmowania zagadnień dostarczy wzmiankowane już wyżej „Scholium”.

W podobny sposób, jak dwa pierwsze „wnioski” oparte są na drugim prawie ruchu, dwa następne (trzeci i czwarty) wiążą się z prawem „działania i przeciwdziałania”. Wniosek trzeci można poniekąd uważać za ściślejsze ujęcie tego, co Descartes wyraził w zasadzie zachowania ilości ruchu. „Ilość ruchu, którą rozumiemy jako sumę ruchów, zachodzących w jedną stronę, i różnicę ruchów zachodzących w strony przeciwne, nie zmienia się wskutek wzajemnego działania ciał”. (*Quantitas motus quae colligitur capiendo summam motuum factorum ad eandem partem, et differentiam factorum ad contrarias, non mutatur ab actione corporum inter se*). Według brzmienia prawa trzeciego działanie równe jest przeciwdziałaniu; „jeżeli więc ruchy zachodzą w jedną stronę, to cokolwiek będzie dodane do ruchu ciała wyprzedzającego, będzie odjęte od ruchu ciała dopędzającego, tak że suma pozostanie taka, jaka była uprzednio. Jeżeli ciała idą na spotkanie jedno drugiego (*obviam eant*), równe będzie zmniejszenie się ruchu obydwu ciał, różnica jednak ruchów, zachodzących w kierunkach przeciwnych, pozostanie ta sama”. Newton popiera to przykładem liczbowym. „Niech ciało kuliste A będzie trzy razy większe (*sit triplo maius*), niż ciało kuliste B, i ma dwie części prędkości; i niech B porusza się po tej samej prostej z prędkością dziesięciu części; ruch więc A będzie do ruchu B, jak sześć do dziesięciu; założmy, że ruchy ich są równe sześciu i dziesięciu częściom, tak że w sumie bę-



dzie części szesnaście. Niech przy uderzeniu się ciało A zyska trzy lub cztery lub pięć części ruchu, ciało B straci części tyleż, wobec czego ciało A porusza się po odbiciu z dziewięciu, dziesięciu lub jedenastu częściami, B zaś z siedmiu, sześciu lub pięciu, tak że zawsze suma części będzie tak, jak poprzednio, szesnaście... Jeżeli zaś znamy ruchy, jakimi ciała poruszają się po odbiciu, będziemy mogli znaleźć prędkość każdego z nich, zakładając, że [prędkość przed odbiciem] tak się ma do prędkości po odbiciu, jak ruch przed [odbiciem] ma się do ruchu po odbiciu".

W rozwoju jednak mechaniki ważniejszą bodaj od tego twierdzenia rolę odegrało twierdzenie następane o zachowaniu ruchu środka ciężkości, które czasem stało się jednym z trzech podstawowych twierdzeń, opartych na określeniach i pewnikach Newtona<sup>1</sup>). Newton wyraża je w sposób następujący: „Wspólny środek ciężkości dwu lub więcej ciał nie zmienia swego stanu spoczynku lub ruchu na skutek wzajemnego działania ciał; i wobec tego wspólny środek ciężkości wszystkich wzajemnie na siebie działających ciał (po wykluczeniu działań i przeszkód zewnętrznych) albo spoczywa albo porusza się jednostajnie i prostoliniowo". (*Commune gravitatis Centrum corporum duorum vel plurium, ab actionibus corporum inter se non mutat statum suum vel motus vel quietis; et propterea corporum omnium in se mutuo agentium (exclusis actionibus*

<sup>1</sup>) Dwa pozostałe są następujące: twierdzenie o zachowaniu pól i zasada zachowania siły żywej.

et impedimentis externis) commune Centrum gravitatis vel quiescit vel movetur uniformiter in directum.)

To twierdzenie, które pozwalało zastąpić badanie ruchu wielu ciał badaniem ruchu tylko jednego punktu układu, Newton wyjaśnia dość obszernie. Z samego określenia środka ciężkości dwu punktów materialnych, który dzieli prostą, łączącą te dwa punkty, na odcinki odwrotnie proporcjonalne do ich mas, wynika według Newtona, że gdy punkty te poruszają się jednostajnie i prostoliniowo, to środek ich ciężkości albo pozostaje w spoczynku albo porusza się jednostajnie wzdłuż linii prostej. Ten wniosek łatwo uogólnić na przypadek większej ilości ciał. W układzie dwu wzajemnie działających na siebie ciał „ruchy względne tychże ciał, czy to przy zbliżaniu się do środka, czy też przy oddalaniu od niego, są równe. Stąd środek ten wobec równych zmian ruchów, zachodzących w przeciwnych kierunkach,... ani się nie porusza ani nie opóźnia ani nie doznaje zmiany w swoim stanie ruchu lub spoczynku”. W układzie wielu ciał „wszystkie wzajemne działania ciał zachodzą albo między dwoma ciałami albo są wypadkową działań, zachodzących między dwójkiem ciał; i dlatego nigdy nie powodują zmiany w stanie ruchu lub spoczynku wspólnego wszystkim tym ciałom środka. Wobec tego... środek ten albo zawsze będzie w spoczynku albo zawsze poruszać się będzie jednostajnie i prostoliniowo, o ile siły zewnętrzne w stosunku do układu nie zakłócą tego jego stanu. Prawo układu ciał wielu jest przeto takim samym jak ciała samotnego, o ile chodzi o trwanie w stanie ruchu lub spo-

czynku. Ruch bowiem postępowy czy to ciała samotnego czy też układu ciał należy wyznaczać z ruchu środka ciężkości“.

Dwa wnioski ostatnie dotyczą względności ruchu i stanowią uzupełnienie wyżej przytoczonych rozważań nad przestrzenią, stwierdzając raz jeszcze, że w przypadku ruchu postępowego prawa mechaniki nie dają dostatecznej podstawy do rozstrzygnięcia, czy ruch dany jest ruchem względnym czy też bezwzględnym.

„Wzajemne ruchy ciał, zawartych w danej przestrzeni, pozostają temi samemi [bez względu na to], czy przestrzeń owa spoczywa czy też porusza się jednostajnie i prostoliniowo, bez ruchu kołowego“ (*corporum dato spatio inclusorum iidem sunt motus inter se, sive spatium illud quiescat, sive moveatur uniformiter in directu sine motu circulari*). Działania bowiem wzajemne ciał przy zderzeniu zależą jedynie od sumy lub różnicy ilości ruchu ciał, „na mocy zaś prawa drugiego w obydwu przypadkach skutki zderzeń (*congressuum*) będą równe; i dlatego ruchy wzajemne w jednym przypadku pozostaną równe ruchom w drugim. Potwierdzają to wiarogodne doświadczenia. Wszystkie ruchy zachodzą w ten sam sposób na okręcie [bez względu na to], czy okręt spoczywa czy też porusza się jednostajnie i prostoliniowo“.

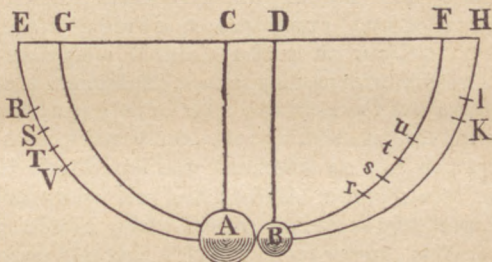
Niezależność zjawisk mechanicznych wewnątrz układu od ruchu układu zachodzi również wtedy, gdy układ jako całość porusza się ruchem przyspieszonym. „Gdy ciała posiadają jakiegokolwiek ruchy wzajemne i podlegają równym siłom przyspieszającym, działającym według linii równole-

głych, poruszają się względem siebie w ten sam sposób, jakgdyby nie były pobudzane przez owe siły" (si corpora moveantur quomodocunque inter se, et a viribus acceleratricibus aequalibus secundum lineas parallelas urgeantur, pergunt omnia eodem modo moveri inter se, ac si viribus illis non essent incitata.)

Jest to, oczywiście, słuszne tylko w tym przypadku, gdy przyspieszenia wszystkich tych ciał są równe. To też Newton pospiesza objaśnić, co rozumie przez słowa „siły równe“: „Siły bowiem działaniem równym (stosownie do mas poruszanych ciał) i skierowaniem wzdłuż linii równoległych będą, w myśl prawa drugiego, poruszały wszystkie ciała narówni (co do prędkości) i wobec tego nigdy nie zmienią ich wzajemnych położeń i wzajemnych ruchów“.

Końców „Scholię“ rozpoczyna Newton od stwierdzenia, że wyłożone zasady są „przyjęte przez matematyków i poparte licznymi doświadczeniami. Na podstawie dwu pierwszych praw i dwu pierwszych wniosków Galileusz znalazł, że spadek ciał ciężkich jest w podwójnym stosunku do czasu i że ruch pocisków zachodzi wzdłuż paraboli“; Newton uważa wobec tego prawo pierwsze i drugie za całkowicie wyjaśnione i przechodzi do prawa trzeciego, dowód zaś jego znajduje przedewszystkiem w prawach „uderzania się i odbicia ciał twardych“, które ustalili „wyżsi od geometrów czasów poprzednich“ Krzysztof Wren, Jan Wallis i Chrystian Huygens. W tych przez nich tak dokładnie zbadanych zjawiskach Newton szuka pierwszego potwierdzenia postawionej przez siebie zasady.

„Niech wiszą ciała kuliste A, B na niciach równoległych i równych AC, BD [zawieszonych] w środkach C, D. Odchylamy jedno lub obydwa ciała z ich położenia równowagi i puszczamy swobodnie tak, żeby się ze sobą zderzyły i odbiły po zderzeniu. Gdy obydwa ciała jednocześnie spadają



Ryc. 27.

z różnych miejsc, należy obliczyć ruch obydwu zarówno przed jak i po odbiciu i wreszcie porównać ruchy i wyznaczyć skutki odbicia. Tak próbując tego wyznaczenia z wahadłami dziesięciostopowymi, oraz z ciałami to równymi to nierównymi, i czyniąc tak, aby ciała spotykały się, [spadając] z bardzo dużych wysokości, ośmiu lub dwunastu lub szesnastu stóp, znajdowałem zawsze z błędem w pomiarach mniejszym niż trzy cale, że gdy ciała wprost (directe) się spotykały, zmiany ruchu w ciałach były równe i skierowane w przeciwne strony, tak iż działanie i przeciwdziałanie zawsze są równe. Tak jeżeli ciało A trafiło ciało B, będące w spoczynku, z dziewięcioma częściami ruchu i po straceniu siedmiu części poruszało się z dwiema,

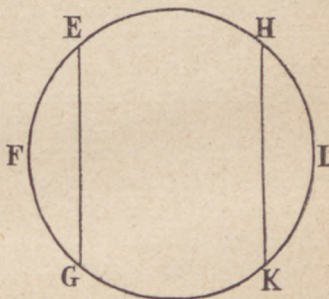
ciało B odskoczyło z siedmiu częściami. Gdy ciała idą jedno na spotkanie drugiego, A z dwunastu częściami i B z sześcioma, i A odejdzie z powrotem z dwiema, B odejdzie z ośmioma, po odtrąceniu od każdego z nich czternastu części. Gdy od ruchu ciała A odejmie się dwanaście, nie zostanie nic; gdy się odejmie inne dwie części, ruch zajdzie w stronę przeciwną z dwiema częściami; i tak po odjęciu od ruchu ciała B o sześciu częściach części czternastu zostanie części ośm w stronę przeciwną<sup>1)</sup>. Tę równość działania i przeciwdziałania można stwierdzić również i na kulach nieprężystych np. na kłębkach wełny. Wtedy jednak prędkość względna obydwu kul nie zachowuje po uderzeniu tej samej wartości, jaką miała przed uderzeniem; suma jednak ilości ruchu<sup>1)</sup> pozostaje i w tym przypadku ta sama.

Jeszcze wyraźniejsze potwierdzenie znajduje trzecie prawo w zjawiskach przyciągania. „Załóżmy, że pomiędzy dwoma ciałami A, B, przyciągającymi się wzajemnie z dowolną siłą, umieszczona jest jakaś przeszkoda, która nie dopuszcza do ich zetknięcia. Gdyby jedno z dwu ciał A bardziej było ciągnięte ku B, niż B ku A, przeszkoda doznawałaby większego ciśnienia ze strony ciała A, niż ze strony ciała B, wobec czego nie pozostałaby w równowadze. Przemogłoby ciśnienie silniejsze i sprawiłoby, że układ dwu ciał i przeszkody poruszałby się prostoliniowo w kierunku B i ruchem w swobodnej przestrzeni ciągle przyspieszanym odszedłby do nieskończoności, co jest niedorzeczne

<sup>1)</sup> Jest to, oczywiście, suma geometryczna.

i sprzeczne z prawem pierwszym. Według bowiem prawa pierwszego układ powinien trwać w swym stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego prostoliniowego, i wobec tego ciała będą jednakowo cisnęły na przeszkody oraz narówni ciągnąć się wzajemnie. Wypróbowałem to na magnesie i żelazie. Gdy się je umieści w oddzielnych, stykających się wzajemnie naczynkach, tak aby w stojącej wodzie pływały obok siebie, żadne nie będzie popychało drugiego, lecz wskutek równości przyciągań każde z nich będzie podlegało wzajemnym ku sobie dążeniom i wskutek wytworzonej równowagi będą w spoczynku".

Podobnie i z wzajemnem przyciąganiem ziemi i jej części. „Podzielmy ziemię FI jakąkolwiek płaszczyzną EG na dwie części EFG i EGI: wzajemne ciężary tych [dwu części] będą równe. Podzielmy bowiem inną płaszczyzną HK, równoległą do poprzedniej EG, większą część EGI na dwie części EGHK i HKI, z których HKI niech będzie równe poprzednio odciętej części EFG; jest rzeczą oczywistą, że część środkowa EGHK nie będzie przeważała własnym ciężarem ku żadnej z części skrajnych, lecz między obydwoma zawisnie, że tak powiem, w równowadze i będzie w spoczynku. Część zaś skrajna



Ryc. 28.

5\*

HKI całym swoim ciężarem wesprze się na części środkowej i będzie ją popychała ku drugiej skrajnej części EGF; w ten sposób siła, na skutek której suma EGI części HKI i EGHK dąży ku części trzeciej EGF, równa jest ciężarowi części HKI, to jest ciężarowi części trzeciej EGF. I wobec tego ciężary dwu części EGI, EGF są wzajemnie równe, jak tego chciałem dowieść. I gdyby ciężary te nie były równe, to cała ziemia, pływając w swobodnym eterze, ustąpiłaby większemu ciężarowi i, uciekając od niego, oddaliłaby się do nieskończoności“.

Prawo „działania i przeciwdziałania“ rozszerza również Newton na zagadnienia statyki i z jego pomocą ustala warunki równowagi ciał. Wtedy jednak pojęcie „działania“ (actio) wyraża się nie ilością ruchu, jak przy zderzaniu się ciał, lecz iloczynem siły działającej przez prędkość ciała poruszanego.<sup>1)</sup> Jest to zatem wielkość, o której mowy nie było ani w „określeniach“ ani „prawach“. Dlatego też Newton nowe to w gruncie rzeczy prawo, — którego pierwsze, niezbyt dokładne sformułowanie dał Descartes w jednym z listów do Mersenne'a, a które niezależnie od Kartezjusza stosował Galileusz w badaniach hydrostatycznych, — wprowadza nie jako wniosek, wynikający bezpośrednio z trzeciego prawa, lecz raczej jako nowe analogiczne do poprzedniego twierdzenie.

„Podobnie jak ciała, których prędkości są odwrotne do sił przyrodzonych,<sup>2)</sup> tę samą mają moc

<sup>1)</sup> Z wywodów Newtona wynika dostatecznie jasno, że uwzględnił on jedynie prędkość w kierunku działania siły.

<sup>2)</sup> A więc do mas, jak wynika z określenia trzeciego.



(idem pollent) przy uderzaniu i odbiciu, tak i w poruszanych przyrządach mechanicznych czynniki (agentia) mają tę samą moc i w dążeniach przeciwnych wzajemnie się wstrzymują, gdy prędkości ich, wyznaczane zgodnie z kierunkiem sił, są do sił odwrotne. Tak na ruchomych ramionach wagi ciężary się równoważą, gdy są odwrotne do prędkości, z jakimi poruszają się do góry i nadół w czasie wahania się wagi: to znaczy, te ciężary, które się pionowo (recta) podnoszą i opuszczają, równoważą się wtedy, gdy są w stosunku odwrotnym do odległości swych punktów przyłączenia od osi obrotu; jeżeli zaś wskutek przyłożenia równi pochyłych lub innych przeszkód podnoszą się lub opadają ukośnie, równoważą się wtedy, gdy są odwrotne do podnoszenia się lub opadania, obliczanego według pionu: tak jak przy wyznaczaniu kierunku ciężkości<sup>1)</sup>.

W ten sam sposób można znaleźć warunki równowagi wielokrażka, mechanizmów zegarowych, śruby i klina. I tak jest „we wszystkich maszynach. Skuteczność ich bowiem i pożytek na tem tylko polega, aby zmniejszeniem prędkości zwiększyć siłę i odwrotnie“. Ale nad tem Newton długo się nie rozwodzi. „Nie leży bowiem w [jego] zamiarach wykład mechaniki.<sup>1)</sup> Chciałem tyle powiedzieć, ile [potrzeba] do jasnego wykazania, jak pewne jest trzecie prawo ruchu. Jeżeli bowiem oceniać się będzie działanie czynnika z jego siły łącznie z prędkością; i podobnie oddziaływanie oporu z prędkości jego poszczególnych części

---

<sup>1)</sup> Tym terminem oznaczał Newton. jak wynika z przedmowy, to, co dziś nazywamy mechaniką stosowaną,

łącznie z siłami oporu, powstającymi z ich tarcia, spójności, ciężaru i przyspieszenia, to działanie i przeciwdziałanie będą przy każdym użyciu przyrzędu wzajemnie równe". Tem ważnym twierdzeniem, które następnie mieli rozwinąć Jan Bernoulli (1667—1748) i Lagrange (1736—1813), kończy Newton wstęp do trzech ksiąg „Zasad“.

---

## ROZDZIAŁ SIÓDMY.

### Trzy księgi „Zasad.“

*panta ek logu te kaj hyp' anankes  
(wszystko podlega prawu i poddane jest  
konieczności) Demokryt.*

Według planu „Zasad“, wyłożonego w przedmowie, na „określeniach“ i „prawach“ oprzeć się miał wywód twierdzeń ogólnych, dotyczących ruchu ciał, a więc przede wszystkim długości i kształtu drogi, opisywanej przez dane ciało pod działaniem oznaczonej siły, lub odwrotnie, wartości i kierunku siły, dzięki której ciało opisuje daną drogę. Tylko w najprostszym przypadku siły stałej lub ruchu prostoliniowego zadanie takie mogło być rozwiązane sposobami, jakimi się posługiwał Galileusz. W przypadkach bardziej złożonych rozwiązanie wymagało, jak o tem wyżej już była mowa,<sup>1)</sup> nowych zupełnie metod rachunkowych. Tej trudności wyłącznie matematycznej nie zapobiegało sformułowanie przez Newtona ogólnych praw ruchu; prawa te bowiem jedynie uogólniały założenia ułamkowe Galileusza i nadawały im ściślejszą postać i tak jak one wyznaczały tylko związek między siłą, działającą w danej chwili na ciało,

---

<sup>1)</sup> P. rozdział trzeci.

a zmianą jego prędkości. Można by nawet powiedzieć, że przez to uogólnienie jeszcze bardziej uwydatniały matematyczne trudności zagadnienia. Dla Newtona były one mniejsze niż dla kogośkolwiek innego. Na wiele, jak wiemy, lat przed napisaniem „Zasad” był on już w posiadaniu obydwu potrzebnych do tego celu metod rachunkowych — kwadratury krzywych i t. zw. zagadnienia stycznych.

Jest rzeczą niewątpliwą, że tych właśnie metod użył do rozwiązania zagadnień, omawianych w „Zasadach”. Wskazuje na to choćby porządek, w jakim są rozmieszczone niektóre twierdzenia, zrozumiały tylko wtedy, gdy przypuścimy, że przy ich wyprowadzaniu Newton posługiwał się metodami analitycznymi, nadając swym wnioskom taką kolejność, w jakiej je otrzymywał ze swych rozważań. O „ukrytej analizie” (analysis latens) „Zasad” sam zresztą pisał w ogłoszonej (w 1712 r.) anonimowo polemice z Leibnizem, dodając, że nie spostrzegają jej tylko „ludzie niedoświadczeni”. W samym jednak wykładzie drobne zaledwie tej analizy pozostały ślady. Wszędzie Newton stosuje w dowodzeniu metodę syntetyczną, co w wysokim stopniu utrudnia korzystanie z jego dzieła i odbiera przejrzystość wywodom. Powody, które go skłoniły do zadania sobie ciężkiego trudu przerobienia otrzymanych na innej drodze wyników, były, zdaje się, bardzo złożone. Sam on we wspomnianem wyżej piśmie objaśnia swoje postępowanie powołaniem się na przykład geometrów starożytnych, którzy dla „nadania wszystkiemu większej pewności, niczego nie dopuszczali do geometrii, coby uprzednio

nie było syntetycznie udowodnione; dlatego też i Newton udawdniał twierdzenia swe syntetycznie, aby oprzeć układ niebios na pewnej (certa) geometrii". Newton bowiem, o ile można sądzić, nie przywiązywał wielkiej wagi do odkrytego przez siebie rachunku, uważając go raczej za dogodne narzędzie pracy, niż za nową gałąź matematyki. Ten pogląd uległ dopiero wtedy zmianie, gdy pod wpływem Leibniza rachunek ten w rękach Jana i Jakóba Bernoullich, de l'Hospitala (1661—1704) i innych dał wyniki, które trudno było lekceważyć.

Pewnych jednak wzmianek o nowych pojęciach matematycznych Newton uniknąć nie mógł. Poświęcił im wobec tego dwa drobne stosunkowo ustępy, poprzestając na wyłożeniu tego tylko, co uważał za niezbędne.

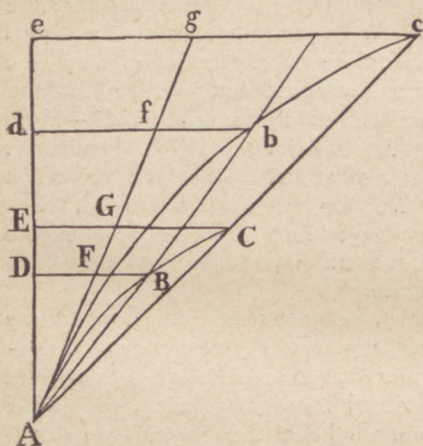
Ustęp pierwszy, stanowiący dział pierwszy (sectio prima) księgi pierwszej, zawiera twierdzenia, dotyczące pierwszego i ostatniego stosunku dwu wielkości, inaczej mówiąc, granicy, do jakiej dąży stosunek dwu wielkości zmiennych, gdy wzrastają one stopniowo od znikomo małej wartości lub też zmniejszają się dopóty, dopóki nie staną się mniejsze od dowolnie małej.

Z podstawowego twierdzenia, że „wielkości lub stosunki wielkości, które w dowolnym skończonym czasie dążą do równości i przed końcem tego czasu zbliżają się do siebie bardziej, niż [wynosi] dana jakakolwiek różnica, są sobie równe", Newton wyprowadza szereg twierdzeń geometrycznych,<sup>1)</sup> do

---

<sup>1)</sup> Takich np., że gdy kąt dąży do zera, długości łuku, cięciwy i odcinka stycznnej stają się wzajemnie równe.

których rozwiązania używa się obecnie rachunku różniczkowego. Z twierdzeń, mających bezpośredni związek z zagadnieniami mechaniki, znajdujemy tylko jedno (lemma X): „Drogi (spatia), opisane przez ciało, pod działaniem dowolnej, skończonej



Ryc. 29.

siły, zarówno wtedy, gdy siła ta jest oznaczona i niezmienna, jak i gdy stale się zmniejsza lub zwiększa, są na samym początku ruchu w podwójnym stosunku do czasów“.

Krótki dowód tego twierdzenia niczem w gruncie rzeczy się nie różni od wspomnianego już wyżej<sup>1)</sup> wyprowadzenia przez Galileusza wzoru na drogę, opisaną przez ciało spadające pod działaniem stałej siły. „Niech czas wyobrażają linie AD, AE, powstające (genitae) zaś prędkości rzędne DB, EC; drogi, przez te prędkości opisane, niech będą takie, jak pola ABD, ACE, opisane przez te rzędne“. Pola te jednak nie są już, jak u Galile-

skiego, jak u Galileusza, równość pól ABD i ACE, lecz równość pól ACE i ABD, co jest dowodem na to, że droga opisana przez ciało spadające pod działaniem stałej siły jest kwadratem czasu.

<sup>1)</sup> P. rozdział trzeci.

usza, polami trójkątów prostokątnych, lecz są ograniczone dowolną linią krzywą, gdyż siła działająca zmienia się według dowolnego prawa. Twierdzenia geometryczne, poprzednio udowodnione przez Newtona, pozwalają stwierdzić, że i w tym przypadku granica stosunku (*ipso motus initio*) tych pól będzie taka, jak przy spadaniu pod działaniem stałej siły ciężkości i że wobec tego prawo Galileusza może być uogólnione na siły dowolne.<sup>1)</sup>

Napróżno jednak szukalibyśmy w tych wywodach Newtona pojęcia „niepodzielnych“ (*indivisibilia*) lub nieskończenie małej, które poczynając od Cavalieriego, zdobywały sobie stopniowo w matematyce prawo obywatelstwa właśnie przy rozwiązywaniu tego typu zagadnień. Newton unika tych pojęć, mogą one bowiem prowadzić do uważania wielkości matematycznych za „powstające z części stałych, możliwie najmniejszych“. Myśląc o wielkościach matematycznych, ma on zawsze przed oczyma zjawiska ruchu, których cechą jest ciągła, stopniowa zmiana. To też linia prosta nie powstaje według niego „z zestawienia części, lecz z ciągłego ruchu punktów, powierzchnia — z ruchu linii, bryły z ruchu powierzchni, kąty z obrotu ramion, czasy z ciągłego upływania i podobnie w innych przypadkach“. Tym poglądom daje wyraz w „Scholium“, wyjaśniającem i usprawiedliwiającem użytą metodę.

<sup>1)</sup> Możliwość więc powiedzieć, że podobnie jak Galileusz zastępuje ruch niejednostajny szeregiem krótkotrwałych ruchów jednostajnych, w dowodzie Newtona działanie siły zmiennej zastąpione jest przez działania krótkotrwałych sił stałych o coraz to innej wartości.

„Umieściłem te lematy dla uniknięcia długich dowodzeń, otrzymywanych wzorem dawnych geometrów przez doprowadzenie do absurdu. Krótszemi stają się wywody przy użyciu metody niepodzielnych. Lecz ponieważ hipoteza niepodzielnych jest trudniejsza (*durior*), oraz z uwagi, że metoda ta uważana jest za mniej geometryczną, wolałem sprowadzić dowodzenia dalszych twierdzeń do ostatnich sum i stosunków wielkości zanikających (*evanescentium*) i do pierwszych — powstających (*nascentium*), to znaczy do granic sum i stosunków; i wobec tego umieściłem na początku możliwie krótkie udowodnienie tych granic. Z ich bowiem pomocą osiąga się to samo, co przy użyciu metody niepodzielnych... Wobec tego w następstwie, jeżeli będę rozważał wielkości, jako złożone z części, lub uważał za linje proste linijki (*lineolas*) krzywe, nie chciałbym, aby przez to były kiedykolwiek rozumiane niepodzielne, lecz zanikające podzielne, nie sumy i stosunki oznaczonych części, lecz sum i stosunków granice... Można zarzucić, że niema żadnego ostatniego stosunku zanikających wielkości, gdyż ten [który zachodzi] przed ich zaniknięciem nie jest ostatni, gdy zaś zanikną, niema żadnego. Lecz na tej samej zasadzie można również twierdzić, że ciało, dochodzące do pewnego miejsca, gdzie się ma skończyć ruch, nie ma żadnej ostatniej prędkości; ta bowiem, którą [ciało posiada] zanim osiągnie miejsce, nie jest ostatnia, gdy zaś [ciało miejsce to] osiągnie, nie ma prędkości żadnej. Odpowiedź jest łatwa: przez prędkość ostatnią rozumiemy tę, z jaką ciało się porusza nie wtedy, gdy jeszcze nie osiągnęło



ostatniego miejsca i zaprzestało ruchu, i nie wtedy, gdy już osiągnęło [to miejsce], lecz wtedy, gdy [je] osiąga; to znaczy, tę właśnie prędkość, z jaką ciało osiąga miejsce ostatnie, i z którą ruch ustaje. I podobnie przez ostatni stosunek wielkości zanikających należy rozumieć stosunek wielkości, nie [ten, jaki posiadają] zanim zanikną ani [ten, jaki posiadają] po zaniknięciu, lecz [ten], z jakim zanikają. Podobnie i pierwszy stosunek wielkości powstających jest stosunkiem, z jakim powstają... ..Te ostatnie stosunki, z jakimi wielkości zanikają, nie są w rzeczywistości stosunkami ostatnich wielkości, lecz granicami, do których ciągle zbliżają się stosunki bezgranicznie malejących wielkości; i do których mogą się bardziej przybliżyć, niż [wynosi] jakakolwiek dana różnica, których jednak nigdy nie przekraczają i do których dojść mogą nie wcześniej, aż wielkości zmniejszą się nieskończenie“.

Podobne zastrzeżenia powtarza Newton w drugim ustępie matematycznym „Zasad“ (księga druga, dział drugi, lemat drugi), zawierającym reguły różniczkowania, identyczne z temi, jakie były podane w pracy „De analysi“. Ostrzega on czytelnika, aby pojęcia momentu, którego Newton używa dla oznaczenia przyrostu lub ubytku funkcji (genita), nie rozumiał jako „częstek skończonych“ (particulae finitae). „Cząstki skończone nie są momentami, lecz samymi wielkościami, utworzonymi (genitae) z momentów“. Wielkości, które Newton rozważa w tym ustępie, „wzrastają lub zmniejszają się ciągłym ruchem lub płynięciem“. Stwierdza, że wyniki otrzymamy te same, gdy zamiast momentów

rozpatrywać będziemy „albo prędkości przyrostów lub ubytków (które można nazwać ruchami, zmianami, fluksjami wielkości) lub jakiegokolwiek inne wielkości skończone proporcjonalne do tych prędkości“.

Te dwa ustępy zawierają wszystko, co Newton uznał za konieczne powiedzieć w „Zasadach“ o stworzonym przez siebie rachunku. Ale nawet i temi niewielu twierdzeniami posługuje się w swych dowodzeniach tylko w ostateczności, pozostając naogół wiernym metodzie geometrii klasycznej.

Dział drugi księgi pierwszej rozpoczyna Newton od twierdzeń, dotyczących ruchu pod działaniem sił, skierowanych ku jednemu punktowi nieruchomemu lub poruszającemu się jednostajnym ruchem prostoliniowym. W tym przypadku pola opisywane przez promień, łączący dane ciało ze środkiem sił, są proporcjonalne do czasu tak, że ta cecha jest dla działania sił dośrodkowych charakterystyczna. Do tej kategorii ruchów należy, oczywiście, i ruch jednostajny po kole, można więc przeto twierdzenia poprzednie zastosować i do niego i, jako jeden z wniosków, otrzymać wzór, podany przez Huygensa w „znakomitej rozprawie (eximio tractatu) o zegarze wahadłowym“. Stąd też, zakładając, że planety są ciałami, poruszającymi się po kołach o różnych promieniach, można wyprowadzić, że gdy okresy ich obrotów są w takim stosunku do promieni, jaki wyznacza trzecie prawo Keplera,<sup>1)</sup> siły dośrodkowe, działające na każde z tych ciał,

---

1)  $\frac{T^2}{r^3} = \frac{R^3}{r^3}$ .

są odwrotnie proporcjonalne do kwadratów promieni. Taki „przypadek... dotyczy ciał niebieskich, jak to ze swej strony wykazali nasi [rodacy] Wren, Hooke i Halley“. Przypadku tego Newton obszerniej w tym miejscu nie rozpatruje; poprzestaje jedynie na wzmiance powyższej, wymuszonej, jak wiadomo, przez Halleya, zaznaczając, że zagadnienie to rozpatrzy bardziej wyczerpująco. To jednak nastąpić może nieprędko. Założenie bowiem orbit kołowych jest zbyt uproszczeniem zagadnienia, które powinno być rozwiązane w całej ogólności, co znów wymaga szeregu twierdzeń, ustalających różne własności ruchu, zachodzącego pod działaniem sił środkowych. Między nimi umieszcza Newton i takie, które naporóż niczem się nie łączą z głównym celem rozważań, jak np., że gdy ciało porusza się po spirali, siła, skierowana do środka spirali, jest odwrotnie proporcjonalna do sześciątej potęgi odległości, a co jest, jak o tem wyżej już była mowa<sup>1)</sup>, echem wymiany listów z Hookem. O ruchu ciała po elipsie pod działaniem siły, skierowanej do środka elipsy, czytamy w końcowem twierdzeniu (IX) działu drugiego. Ustala ono, że wtedy siła działająca jest proporcjonalna do odległości. Z tym przypadkiem, nie czyniącym, jak wiadomo, zadość pierwszemu prawu Keplera, Newton łączy doświadczenia Galileusza. „Gdy elipsa przy oddalaniu się środka do nieskończoności zamienia się w parabolę, ciało porusza się po tej paraboli; i siła skierowana do środka nieskończenie odległego staje się jednostajną. Takie jest twierdzenie Galileusza“.

<sup>1)</sup> P. rozdział piąty.

Dopiero twierdzenie następne, rozpoczynające dział trzeci, daje ten dowód, którego znaleźć nie mogli ani Wren, ani Hooke, ani Halley: gdy ciało porusza się po elipsie, i siła, działająca na ciało, jest skierowana ku ognisku elipsy, wartość jej zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości, a więc prawo odwrotnych kwadratów jest koniecznym wnioskiem z pierwszego i drugiego prawa Keplera. Newton o tem nie mówi tu ani słowa, lecz przechodzi odrazu do rozpatrzenia ogólnych warunków, w jakich tor ciała może być jednym z przecięć stożkowych (elipsa, hiperbola i parabola),<sup>1)</sup> i ustala, że w przypadku ruchu po elipsie musi być spełnione i trzecie prawo Keplera, wobec czego zagadnienie jest całkowicie rozwiązane.

Należy jednak rozwiązać jeszcze zagadnienie odwrotne, którego sformułowanie daje twierdzenie XVII: „W założeniu, że siła dośrodkowa jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości miejsc [zajmowanych przez dane ciało] od środka<sup>2)</sup> i że znana jest bezwzględna wartość tej siły, wyznaczyć linię, którą opisuje ciało, wychodzące z danego miejsca z daną prędkością wzdłuż danej linii prostej“. Opierając się na twierdzeniu XIII, a raczej na wynikających z niego wnioskach, Newton zakłada, że torem punktu może być wtedy jedynie przecięcie stożkowe. Rozpatrzeniu różnych

<sup>1)</sup> Nazwa przecięć stożkowych, którą dajemy tym krzywym, pochodzi stąd, że możemy je otrzymać, przecinając pod odpowiednim kątem stożek płaszczyzną. Własność tę ustalił Apolonjusz z Pergé (w III wieku przed Nar. Chr.).

<sup>2)</sup> należy tu rozumieć „środek sił“ nie zaś „środek elipsy“.

możliwych wtedy przypadków poświęcone są cztery następne działy, mające charakter wyłącznie matematyczny<sup>1)</sup>, podobnie zresztą jak i dwa dalsze działy, zawierające rozpatrzenie ruchu swobodnego oraz ruchu ciał na orbitach ruchomych.

W dziale XI przechodzi Newton do omówienia warunków, w jakich istotnie zachodzą ruchy ciał pod działaniem sił przyciągających. To wszystko bowiem, o czym była mowa poprzednio, opierało się na założeniu fikcyjnym, że siły skierowane są do nieruchomego środka, co nie jest zgodne z rzeczywistością. „Przyciągania zazwyczaj zachodzą między ciałami; działania ciał ciągnących (trahentium) i przyciąganych (attractorum) są, zgodnie z trzecim prawem, zawsze wzajemne i równe: tak iż nie może spoczywać ani ciało przyciągające ani przyciągane, lecz gdy są dwa ciała, obydwa (w myśl czwartego wniosku praw)<sup>2)</sup> jakby wskutek wzajemnego przyciągania obracają się dookoła wspólnego środka ciężkości; gdy zaś jest wiele ciał, które czy to są przyciągane przez jedyne ciało i przyciągają je, czy też wszystkie wzajemnie się przyciągają, muszą one tak się względem siebie poruszać, aby wspólny ich środek ciężkości albo był w spoczynku albo jednostajnie poruszał się

<sup>1)</sup> Wyjątek stanowią twierdzenia działu VII, gdzie Newton wyznacza czas i prędkość spadania ciał wzdłuż drogi prostoliniowej pod działaniem dowolnych sił dośrodkowych.

<sup>2)</sup> P. rozdział szósty. Takie dwa ciała stanowią układ odosobniony; środek ich ciężkości może być przeto albo w spoczynku albo w prostoliniowym ruchu jednostajnym.

wzdłuż linii prostej. Oto z jakiego powodu przechodzę do wyłożenia ruchu ciał, ciągnących się wzajemnie, rozpatrując siły dośrodkowe, jako przyciągania, jakkolwiek raczej, używając języka fizycznego, należało je słuszniej nazwać popędami. Ale znajdujemy się w dziedzinie matematyki; i dlatego, zaniechawszy sporów fizycznych, używamy zwykłego wyrażenia, aby nas łatwiej zrozumieli matematycy“.

W najprostszym z możliwych przypadków dwu wzajemnie przyciągających się ciał — kształty dróg, opisywanych przez każde z tych ciał w ruchu względnym, są, jak to można udowodnić, podobne do kształtu drogi, opisywanej dookoła wspólnego środka ciężkości. Co więcej, okres obrotu każdego z nich, długość większej osi elipsy można obliczyć ze wzorów poprzednich, w których jedno z ciał było uważane za nieruchome, przez wprowadzenie odpowiedniej poprawki, wyrażającej stosunek masy pojedynczego ciała do sumy mas ciał obydwu. W przypadku wielu ciał działających zagadnienie staje się o wiele bardziej złożone: tylko wtedy, gdy siły działające są proporcjonalne do odległości, wprowadzenie trzeciego ciała nie zmienia kształtu drogi dwu pierwszych ciał, które jak poprzednio opisywać będą współśrodkowe elipsy dookoła swego środka ciężkości; ten zaś poruszać się będzie po elipsie, której środkiem jest wspólny środek ciężkości wszystkich trzech ciał. „Im bardziej jednak odbiega prawo sił od wyżej podanego prawa, tem bardziej ciała zakłócają wzajemnie swoje ruchy“. W pewnych jednak razach zakłócenia te można pominąć; przedewszystkiem wtedy, gdy „wiele

mniejszych ciał obraca się dookoła jakiegoś ciała największego, znajdując się w różnych od niego odległościach. I jakkolwiek wspólny im wszystkim środek ciężkości albo spoczywa albo porusza się jednostajnie wzdłuż linii prostej, to jednak, gdy założymy, że ciała mniejsze są odpowiednio małe, ciało największe nie będzie nigdy w dostrzegalny sposób odległe od tego środka; ciało największe będzie, bez widocznego błędu, albo w spoczynku albo w prostoliniowym ruchu jednostajnym; mniejsze zaś ciała obracać się będą koło tego największego, i promienie do niego przeprowadzone zakreślą pola proporcjonalne do czasu“.

Podobne zjawisko zachodzi, gdy układ ciał mniejszych jest bardzo oddalony od ciała największego; wtedy można założyć, że siły, z jakimi ciało największe działa na mniejsze, są równe i równoległe. Układ staje się jakby jednym ciałem i tak jak jedno ciało się porusza: „to znaczy, środek jego ciężkości opisze koło ciała największego jakieś przecięcie stożkowe (hiperbolę lub parabolę przy słabem [languidus] przyciąganiu, elipsę przy silniejszym) i promień, przeprowadzony do ciała największego, zakreśli pola proporcjonalne do czasu“.

Zakłócenia, jakim może podlegać ruch ciał, Newton rozpatruje obszerniej jedynie w przypadku trzech wzajemnie na siebie działających ciał, co go doprowadza do szeregu wniosków, na których później oprze się w księdze trzeciej przy wyznaczeniu ruchu księżyca, oraz do ustalenia zmian, jakie zająć mogą w ruchu bryły, poddanej działaniu przyciągającemu jakiegoś ciała. Rozważania te

kończą się ostatecznie następującym wnioskiem: „Kula jednorodna i doskonała nie zatrzymuje wielu odrębnych ruchów, lecz wszystkie przyłożone składa i sprowadza do jednego, i o ile jest sama w sobie, obraca się zawsze ruchem prostym i jednostajnym dokoła jedynej osi o danem niezmiennem nachyleniu. Siła dośrodkowa bowiem nie może zmienić ani nachylenia osi ani prędkości obrotu. Jeżeli wyobrazimy sobie, że kula jest podzielona dowolną płaszczyzną, przechodzącą przez jej środek i środek, do którego skierowana jest siła, na dwie półkule, to siła ta działać będzie zawsze jednakowo na każdą z tych półkul i wobec tego nie nachyli kuli, o ile chodzi o ruch obrotowy, w żadną stronę. Gdy zaś dodamy gdziekolwiek między biegunem a równikiem nowej materji nagromadzonej w postaci góry, stałem dążeniem do oddalenia się od środka swego ruchu zakłóci ona ruch kuli i sprawi, że bieguny jego będą błędziły po powierzchni kuli i będą stale opisywały koła dookoła siebie i punktu przeciwległego“.

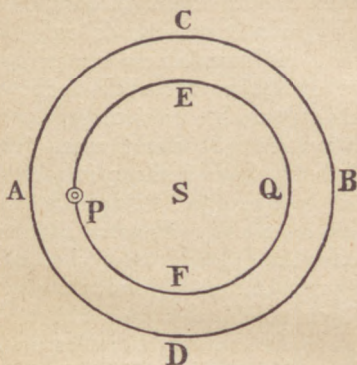
W tych wywodach, opierających się na milczącym założeniu, że działanie ciała jest sumą działań jego poszczególnych części, co zresztą jest prostym wnioskiem z rozważania układu ciał jako jednego ciała, pojęcie masy jest jakby ukryte. Dopiero twierdzenie ostatnie tego działu (LXIX) ustala wyraźnie, że „bezwzględna siła przyciągająca ciała A, jest w takim stosunku do bezwzględnej siły przyciągającej ciała B, jak masa ciała A do masy ciała B“. „Zgodne jest bowiem z rozsądkiem, pisze Newton w wyjaśniającem „Scholium“, że siły, które są skierowane do ciał, zależą od ich istoty



i ilości, jak w ciałach magnetycznych. I ilekroć zajdzie tego rodzaju przypadek, należy oceniać przyciągania ciał, przypisując ich częściom siły własne i biorąc sumę sił. Słowem „przyciąganie“ oznaczam tu ogólnie dążenie jakichkolwiek ciał do wzajemnego przybliżenia się: [bez względu na to] czy dążenie to zachodzi pod działaniem ciał wzajemnie się popędzających czy też na skutek wysyłanych dechów (emissos spiritus), działających wzajemnie, czy wreszcie powstaje ono wskutek działania eteru lub powietrza, lub jakiegokolwiek cielesnego lub bezcielesnego środowiska, pędzącego wzajemnie na siebie pływające w niem ciała. W tem samym ogólnem znaczeniu używam słowa „popęd“, nie rozważam bowiem w pracy niniejszej rodzajów sił i jakości fizycznych, lecz wielkości i stosunki matematyczne, jak to wyjaśniłem w określeniach. W matematyce bowiem należy badać wielkości sił i te stosunki, które wynikają z dowolnie założonych warunków: stąd, gdy przechodzimy do fizyki, należy stosunki te zestawić ze zjawiskami, aby ujawnić, jakie warunki sił odpowiadają szczególnym rodzajom sił przyciągających. I wtedy dopiero będzie można się spierać o rodzaje sił, przyczyny i uzasadnienia fizyczne. Zobaczymy więc, jakimi siłami powinny działać na siebie wzajemnie ciała, złożone w sposób wyżej podany z cząstek przyciągających, i jakie ruchy stąd wynikają“.

Badania swe rozpoczyna Newton od cienkiej warstwy kulistej. Rozpatrując, zgodnie z założeniem, działanie takiej warstewki, jako sumę działań poszczególnych jej części, ustala, że punkt materialny (corpusculum — ciałko), umieszczony gdzie-

kolwiek wewnątrz niej, nie podlega żadnemu działaniu przyciągającemu; znajdując się zaś nazewnątrz, jest przyciągany z siłą odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości od jej środka. Gdy war-



Ryc. 30.

stewkę zastąpimy pełną kulą, prawo przyciągania punktu zewnętrznego pozostanie takim samym, na punkt zaś wewnętrzny działać będzie siła proporcjonalna do odległości od środka, przyciąganie bowiem wywierane będzie jedynie przez kulę wewnętrzną PEQF. Z twierdzeń powyższych wynika odrazu,

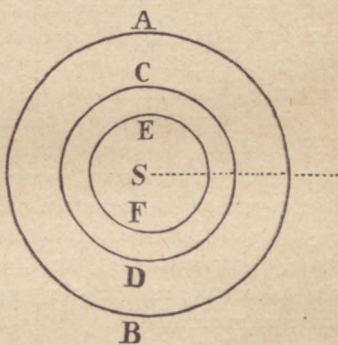
że dwie kule przyciągać się będą z siłami odwrotnie proporcjonalnymi do kwadratu odległości ich środków, a więc tak, jakby cała masa każdej z nich była skupiona w środku geometrycznym kuli. Wszystkie przeto twierdzenia poprzednie, dotyczące ruchu punktów materialnych pod działaniem sił odwrotnie proporcjonalnych do kwadratu odległości, pozostaną bez zmiany, gdy punkty te zastąpimy kulami. Dotyczy to nie tylko kul jednorodnych, lecz i takich, „w których [kule] wewnętrzne [CD], dodane do zewnętrznych [AB], tworzą materję gęstszą ku środkowi lub odjęte pozostawiają rzadszą“, innymi słowy, w których gę-

stość zmienia się zależnie od odległości od środka. Te przypadki są „najbardziej godne uwagi“; w każdym z nich „siły dośrodkowe [albo] zmniejszają się w podwójnym stosunku do odległości lub rosną w prostym do odległości stosunku... To zasługuje na zaznaczenie. Rozpatrywać szczegółowo inne przypadki, prowadzące do mniej wytwornych (elegantes) wyników, byłoby rzeczą zbyt długą. Wolę ująć je i wyznaczyć łącznie w sposób ogólny“.

Tym dość zresztą krótkim rozważaniem poświęcony jest koniec działu XII i dział XIII, w którym Newton raz jeszcze zwraca uwagę na szczególne znaczenie rozpatrywanych poprzednio przypadków. „Gdy siły zmniejszają się w podwójnym stosunku do odległości od cząstek, przyciąganie ku ciału

kulistemu wobec tego, że jest odwrotne do kwadratu odległości przyciąganego ciała od środka kuli, przy zetknięciu zwiększa się prawie niedostrzegalnie, i co za tem idzie, tem mniej zwiększa się przy zetknięciu, gdy przyciąganie zmniejsza się z oddalaniem się ciała przyciąganego w stosunku mniejszym“.

To też tylko w przypadku działania takich sił jest usprawiedliwione zastąpienie działania wszystkich cząstek kuli działaniem masy, skupionej w jej środku. Gdy siły



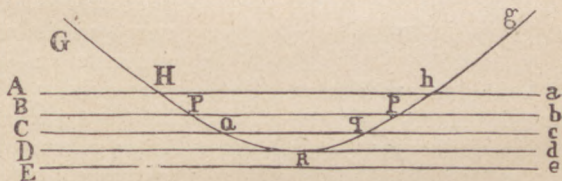
Ryc. 31.

przyciągające zmniejszają się jak trzecie lub wyższe potęgi odległości, „przyciąganie przy dojściu ciała przyciąganego do tego rodzaju ciągnącej kuli wzrasta nieograniczenie“, i rozumowania poprzedniego stosować już nie można.

Dział XIII stanowi istotne zakończenie księgi pierwszej, ostatni bowiem dział „O ruchu ciał najmniejszych, poruszanych przez siły dośrodkowe, dążące ku poszczególnym częściom jakiegoś wielkiego ciała“ zewnętrznie tylko z jej treścią jest związany. Założenie podstawowe, na którym opierają się wszystkie dalsze twierdzenia tego działu, sformułowane przez Newtona wyjątkowo niejasno, można, jak się zdaje, wyrazić w sposób następujący. Niech dwa środowiska będą rozgraniczone warstwą płaskorównoległą; zakładamy, że ciało, przechodzące ze środowiska pierwszego do drugiego, doznaje w tej warstwie odpychania lub przyciągania, prostopadłego do powierzchni rozdziału i skierowanego ku jednemu z dwu środowisk. Droga ciała będzie miała w tej warstwie kształt paraboli, wklęsłością swoją zwróconej ku środowisku przyciągającemu; działanie bowiem siły przyciągającej, o której zakładamy, że jest wielkością stałą, będzie takie samo, jak w przypadku rzutu ciał ciężkich, rozpatrywanym przez Galileusza. Kąty, jakie z normalną do powierzchni rozdziału będą tworzyły kierunki dróg ciała w chwili padania na warstwę i następnie wychodzenia z niej, będą odpowiadały wtedy prawu wstaw, to znaczy, dla wszystkich wartości kątów padania stosunki wstaw kąta padania i kąta załamania (emergentia — wynurzanie się) będą dla danych dwu środowisk

wielkością stałą. Stosunek ten będzie równy stosunkowi prędkości, jaką posiada ciało, wynurzając się z warstewki, do prędkości, jaką posiadało, padając na nią, a więc odwrotnie, niż to obecnie na mocy doświadczeń Foucaulta, przyjmujemy w przypadku zjawisk świetlnych. Można udowodnić, że gdy prędkość ciała będzie przed wejściem do warstewki większa niż później, ciało się odbije i kąt odbicia będzie równy kątowi padania. Drogi ciała wyobrazi wtedy rys. 32.

„Od tych przyciągań, pisze Newton, bardzo niewiele (haud multum) różnią się odbicia i załamania światła, zachodzące według danego stosunku

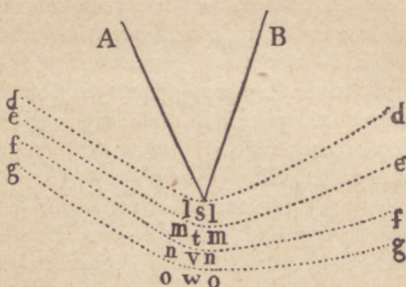


Ryc. 32.

siecznych, jak to znalazł Snellius, a więc i według danego stosunku wstaw, jak to wykazał Kartezjusz. To bowiem, że światło rozchodzi się stopniowo i przestrzeń między słońcem i ziemią przechodzi w siedem czy osiem minut, stwierdzają zjawiska księżyców Jowisza<sup>1)</sup>, potwierdzone przez spostrzeżenia różnych astronomów. Promienie zaś, istniejące w powietrzu (jak to dawno odkrył Grimaldi, wpuszczając światło przez otwór do ciemnego

<sup>1)</sup> Pomiar Olafa Römera.

pokoju i co ja sam również wypróbowałem), przechodząc blisko kątów ciała czyto nieprzezroczystych czyto przezroczystych, ... zakrzywiają się dookoła ciała,



Ryc. 33.

jakby przyciągane do nich; z tych zaś promieni te, które w swem przechodzeniu bardziej zbliżają się do ciała, bardziej się zakrzywiają, jakby bardziej przyciągane, co sam dokładnie stwierdziłem. Te

zaś, które przechodzą w odległościach większych, mniej się zakrzywiają; w odległościach zaś jeszcze większych zakrzywiają się nieco w stronę przeciwną i tworzą trzy barwne wiązki. Na rysunku s oznacza ostrze noża lub jakiegoś klina  $AsB$ ;  $gowog$ ,  $fnvnf$ ,  $emtme$ ,  $dlsld$  są promieniami, zakrzywionymi w łukach  $owo$ ,  $mtm$ ,  $lsl$  ku nożowi, i to więcej lub mniej, zależnie od ich odległości od noża. Gdy więc takie zakrzywienie promieni zachodzi w powietrzu poza nożem, muszą promienie, padające na nóż, zakrzywiać się w powietrzu, zanim dotrą do noża. To samo zachodzi przy padaniu na szkło. Załamanie przeto zachodzi nie w punkcie padania, lecz stopniowo wskutek zakrzywienia się promieni, częściowo w powietrzu, zanim dotrą do szkła, częściowo (jeżeli się nie mylę) w szkłe, po wejściu do niego<sup>44</sup>.

Ustęp ten, który w obszerniejszem rozwinięciu powtórzy Newton w „Optyce“, wskazuje dowodnie, że wszystkie podstawowe założenia teorii emisyjnej, która w poprzednich pracach optycznych nie miała jeszcze określonego kształtu, były w chwili pisania „Zasad“ prawie całkowicie opracowane.

Na podstawie twierdzeń, zawartych w księdze pierwszej, można już było przystąpić do szczegółowego rozpatrzenia ruchu planet. Newton jednak odkłada je do trzeciej księgi „Zasad“. Całą księgę drugą poświęca rozpatrzeniu ruchu ciał w środowiskach, stawiających ruchowi opór, aby, jak to wyraźnie w kilku miejscach zaznacza, sprawdzić, czy z jego założeniami, które uważał za wierne odtworzenie faktów, da się pogodzić hipotezę przestrzeni „pełnej“, nie zawierającej zupełnie obszarów próżnych, i wiążącą się z nią hipotezę powstania wszystkich ciał niebieskich z wirów, dzięki którym trwają one w niezmiennym ruchu obrotowym. Te bowiem hipotezy, wyłożone mistrzowsko przez Descartes'a<sup>1)</sup> w „Zasadach filozofji“, były jedyne godne uwagi próbami „fizycznego“ (w znaczeniu, używanem przez Newtona) wyjaśnienia ruchu ciał niebieskich; zestawienie więc ich i porównanie z wnioskami, jakie wypływały z „określeń i pewników“ oraz ze ścisłych twierdzeń księgi pierwszej, narzucało się samą siłą rzeczy.

Podobnie jak poprzednio rozpoczyna Newton od rozważenia wszystkich możliwych przypadków, aby następnie porównać otrzymane wyniki z danymi doświadczalnymi. Pierwszym z takich przy-

---

<sup>1)</sup> P. rozdział drugi.

padków będzie ten, w którym opór środowiska jest wprost proporcjonalny do prędkości poruszającego się ciała. Newton ustala, w jaki sposób zmienia się wtedy prędkość ciała i jaką drogę przebiega ono w poszczególnych odstępach czasu, oraz wyznacza kształt drogi, opisanej w takim środowisku przez ciało rzucone do góry i poddane działaniu stałej siły ciężkości. „Hipoteza jednak, że opór jest w stosunku prostym do prędkości ciała, jest bardziej matematyczna, niż przyrodnicza. W środowiskach, całkowicie pozbawionych sztywności, opór jest w podwójnym stosunku do prędkości ciała. Działanie bowiem ciała przedszego udziela w mniejszym czasie tej samej ilości środowiska ruchu większego z powodu większej prędkości; dla tejże przyczyny w tym samym czasie udziela ruchu większego w stosunku podwójnym, a to wobec większej ilości zakłóconego środowiska<sup>1)</sup>; opór zaś jest (w myśl drugiego i trzeciego prawa ruchu) taki jak udzielony ruch“.

Obydwa te założenia łączy Newton w jedno, przechodząc w dziale III do „ruchu ciała, którym jest stawiany opór, częściowo w prostym stosunku do prędkości, częściowo zaś w podwójnym do niej stosunku“. Przykładem takiego ruchu może być ruch ciał kulistych w płynie. „Opór [takich ciał] powstaje częściowo z lepkości (tenacitas), częściowo z tarcia, częściowo zaś z gęstości środowiska.

<sup>1)</sup> Niech  $v$  oznacza prędkość ciała względem środowiska; masa środowiska, wprawiona w ruch, jest proporcjonalna do tej prędkości, ilość zaś ruchu mu udzielonego jest proporcjonalna do tej masy i do prędkości względnej, a więc proporcjonalna do drugiej potęgi prędkości.



I o tej części oporu, która powstaje z gęstości cieczy, mówimy, że jest w podwójnym stosunku do prędkości; część druga, która powstaje z lepkości (tenacitas) płynu, jest jednostajna, to znaczy, jak momenty<sup>1)</sup> czasu...“ W takim ruchu, gdy odstęp czasu rosną w postępie arytmetycznym, prędkości zmniejszać się będą w postępie geometrycznym.

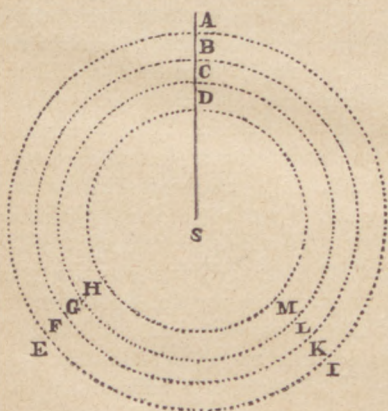
To twierdzenie dotyczy ruchu postępowego ciał, opór jednak środowiska oddziałuje również i na ich ruch obrotowy. W przypadku szczególnym, jedynym zresztą, jaki Newton rozpatruje, gdy gęstość środowiska maleje proporcjonalnie do odległości od nieruchomego środka, ciało, znajdujące się pod działaniem siły dośrodkowej, odwrotnie proporcjonalnej do dowolnej potęgi odległości, opisywać będzie nie krzywą zamkniętą, lecz linię spiralną, którą wszystkie promienie przeprowadzone ze środka, przecinać będą pod danym kątem. „To twierdzenie..., które dotyczy środowisk niejednakowo gęstych, należy zrozumieć, jako obowiązujące w ruchu ciał tak małych, że można nie uwzględniać różnicy gęstości po obydwu stronach ciała. Co do oporu zakładam, że w tych samych pozostałych warunkach jest on proporcjonalny do gęstości“.

Dokładniejsze zbadanie wymaga jednak bliższego oznaczenia własności fizycznych środowiska. To stanowi treść działu V „o gęstości i ściskaniu płynów oraz o hydrostatyce“. Przez płyn Newton rozumie „każde ciało, którego części ustępują dowolnej sile przyłożonej i, ustępując, z łatwością po-

---

<sup>1)</sup> Termin „moment“ jest tu użyty w znaczeniu matematycznym — (p. wyżej).

ruszają się względem siebie". Z tego określenia wyprowadzić można odrazu twierdzenie, które dziś nazywamy twierdzeniem Pascala, jak również wyznaczyć wartość ciśnienia, jakie ciecz ciężka wywiera na dno. Niech DHM będzie powierzchnią kuli, na której spoczywa warstwa płynu. Załóżmy, że warstwa ta, której gęstość jest w równych odległościach od środka jednakowa, ciąży ku środkowi kuli, wtedy górna jej powierzchnia będzie również powierzchnią kulistą np. AEI. Podzielmy tę warstwę powierzchniami współśrodkowymi BFK, CGL, DHM i t. d. na warstewki współśrodkowe o jednakowej grubości. „Najwyższa warstwa AE



Ryc. 34.

będzie ściskana siłą własnej ciężkości, która cisnąć będzie porównie i w miarę ich wielkości na wszystkie części najwyższej kuli oraz na drugą powierzchnię BFK. Prócz tego na drugą powierzchnię BFK cisnąć będzie siła jej własnego ciężaru, która dodana do siły poprzedniej, uczyni ciśnienie podwójne. To ciśnienie, stosownie do jej miary, i poza tem siła jej własnego ciężaru, a więc ciśnienie potrójne działać będzie na powierzchnię

ściskana siłą własnej ciężkości, która cisnąć będzie porównie i w miarę ich wielkości na wszystkie części najwyższej kuli oraz na drugą powierzchnię BFK. Prócz tego na drugą powierzchnię BFK cisnąć będzie siła jej własnego ciężaru, która dodana do siły poprzedniej, uczyni ciśnienie podwójne. To ciśnienie, stosownie do jej miary, i poza tem siła jej własnego ciężaru, a więc ciśnienie potrójne działać będzie na powierzchnię

trzecią CGL. I podobnie ciśnienie poczwórne działać będzie na powierzchnię czwartą, popiętne na piątą i tak dalej. Ciśnienie więc, które działa na dowolną powierzchnię, nie jest takim, jakieby [odpowiadało] pełnej (solida) ilości płynu, na niej spoczywającej, lecz jakie [odpowiada] liczbie kul aż do wierzchołka płynu; i równe jest ciężkości kuli najniższej, pomnożonej przez liczbę kul: to znaczy ciężarowi objętości, której ostatni stosunek do oznaczonego walca<sup>1)</sup> (jeżeli tylko liczba kul się zwiększa, grubość zaś [warstw] zmniejsza nieograniczenie, tak jak działanie ciężkości od najniższej do najwyższej powierzchni nieprzerwanie się zmniejsza) jest stosunkiem równości. Najniższa przeto powierzchnia podtrzymuje ciężar oznaczonego walca“.

W podobnie prosty sposób można dowieść, że „części ciężkiego płynu nie nabywają wskutek ciśnienia spoczywającego na nich ciężaru żadnego wzajemnego ruchu, jeżeli tylko wykluczmy ten ruch, który wynika ze zgęszczenia“.

Jeżeli jednak do płynu zanurzymy ciało o ciężarze właściwym (*gravitas specifica*), różnym od ciężaru właściwego płynu, to ciało takie naogół w spoczynku względem płynu nie będzie: cięższe osiadzie na dnie, lżejsze wypłynie do góry, jedynie takie, którego gęstość jest równa gęstości płynu, „żadnego wskutek ciśnienia spoczywającego na niem płynu nie nabędzie ruchu: ani się podniesie, ani opadnie, ani nie będzie zmuszone zmienić swego kształtu“. To znane od czasów Archimedesza zja-

<sup>1)</sup> Podstawa tego walca równa jest powierzchni kuli DHM, wysokość zaś wysokości DA.

wisko, które dla Descartes'a było dowodem względności ciężaru<sup>1)</sup>, Newton wyjaśnia w sposób następujący: „Ciała więc, umieszczonych w płynach, ciężkość (gravitas) jest podwójna, jedna prawdziwa i bezwzględna, druga pozorna, zwykła (vulgaris) i względna (comparativa). Ciężkością bezwzględną jest siła całkowita, dzięki której ciało dąży nadół: względną (relativa) i zwykłą jest nadwyżka ciężkości, dzięki której ciało bardziej dąży nadół, niż otaczający je płyn. Wskutek ciężkości pierwszego rodzaju części płynów i wszystkich ciał ciążyą w swoich miejscach: ciężary zaś złączone tworzą ciężar całości. Wszystko bowiem jest ciężkie... Wskutek ciężkości drugiego rodzaju ciała nie ciążyą w swoich miejscach, to znaczy, złączone ze sobą nie ważą, lecz przeszkadzając sobie we wzajemnem dążeniu do opadnięcia, pozostają na swoich miejscach, tak jakby nie były ciężkie (gravia). Tych, co są w powietrzu i nie ważą, ogół nie uważa za ciężkie. Te, które ważą, uważa za ciężkie, o ile nie są podtrzymywane ciężarem powietrza. Ciężary (pondera) w pojęciu ogółu nie są niczem innym, jak nadwyżką prawdziwych ciężarów nad ciężarem powietrza. Stąd zazwyczaj nazywa się lekkimi te, które są mniej ciężkie i, ustępując ciężacemu powietrzu, uchodzą do góry...“ Dotyczy to nie tylko grawitacji, ale wszystkich wogóle sił dośrodkowych: „Jeżeli na środowisko, w którym porusza się jakiegokolwiek ciało, działa albo własna jego ciężkość albo inna jakakolwiek siła dośrodkowa, na ciało zaś ta sama siła działa silniej, ta różnica

<sup>1)</sup> P. rozdział drugi.

sił jest tą siłą poruszającą, którą w poprzednich twierdzeniach uważaliśmy za dośrodkową. Jeżeli na ciało siła ta działa słabiej, różnicę sił należy uważać za siłę odśrodkową".

W rozważaniach tego działu nowy był jedynie sposób wyjaśnienia własności płynów, same bowiem zagadnienia oddawna stanowiły przedmiot badań fizycznych. W drugiej jednak połowie działu Newton przechodzi do zagadnień, które przed nim nie były nigdy systematycznie omawiane. Pierwszem z nich jest zmiana gęstości płynu, zachodząca na skutek działania siły dośrodkowej. Newton wyznacza tę zmianę dla dwu przypadków: gdy siła zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do pierwszej potęgi odległości i gdy zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości. Drugim zagadnieniem jest wielkość sił, działających między cząstkami (particulas) płynów. Newton bowiem zakłada, że gdy cząstki płynu dążą do wzajemnego oddalania się od siebie, to oddalanie jest wywołane przez siły odśrodkowe, działające między cząstkami płynu. W przypadku, gdy płyn ma takie własności, że gęstość jego zmienia się proporcjonalnie do wywieranego ciśnienia, „siły odśrodkowe cząstek są odwrotnie proporcjonalne do odległości swych środków”. Gdy pomiędzy ciśnieniem i gęstością zachodzi inny związek, wielkość sił odśrodkowych będzie inna<sup>1)</sup>. W żadnym jednak razie

<sup>1)</sup> Newton wyprowadza, że gdy siły odśrodkowe są odwrotnie proporcjonalne do  $n$ -tej potęgi odległości, ciśnienia będą proporcjonalne do  $\frac{n+2}{3}$  potęgi gęstości.

siły te nie przekraczają działaniem swoim granic płynu. „To wszystko, [co było powiedziane] o siłach odśrodkowych cząstek, należy rozumieć tak, że kończą się one na najbliższych cząstkach lub też niewiele poza nie przenikają. Przykład mamy w ciałach magnetycznych. Ich siła (virtus) przyciągająca kończy się niemal na najbliższych im ciałach tego samego co i one rodzaju. Siła (virtus) magnesu kurczy się (contrahitur) przez umieszczenie blachy żelaznej i kończy się niemal na blasze. Ciała bowiem dalsze ciągnione są nie tyle przez magnes, ile przez blachę. W ten sam sposób, jeżeli cząstki oddalają się od najbliższych cząstek tego samego co i one rodzaju, na cząstki dalsze nie wywierają żadnego działania (virtutem); otóż z tego rodzaju cząstek składają się płyny, których dotyczy wyżej przytoczone twierdzenie. Gdyby bowiem działanie (virtus) każdej cząstki rozchodziło się do nieskończoności, trzebaby było większej siły do takiego samego zgęszczenia większej ilości płynu“. Ale i tu wywody swoje Newton opatruje zwykłym zastrzeżeniem: „To, czy istotnie płyny sprężyste składają się z cząstek wzajemnie od siebie uciekających, jest zagadnieniem fizycznym. Ustaliliśmy matematycznie własności płynów, składających się z takich cząstek, aby dać filozofom powód rozważania tej sprawy“.

Sam nie rozwija dalej swych założeń, lecz przechodzi do badań doświadczalnych nad oporem. Poprzedza je rozpatrzeniem ruchu wahadła (dział VI), tego bowiem przyrządu używa do swych pomiarów. Ustala przedewszystkiem, że „ilość materji wahadła jest w prostym stosunku do ciężaru i kwadratu

czasu [okresu wahania], w odwrotnym zaś do długości wahadła<sup>1)</sup> i że stosunek ten obowiązuje nie tylko w próżni, lecz i w każdym innym, nie stawiającem oporu środowisku, z tem jedynie zastrzeżeniem, że wtedy „siłą poruszającą“ będzie ciężar względny, który też należy wstawić do wzoru zamiast ciężaru bezwzględnego. Ta własność wahadła sprawia, że nadaje się ono „do porównywania ciał, o ile chodzi o ilość materji w poszczególnych [ciałach], jak również do porównywania ciężarów tego samego ciała w różnych miejscach dla poznania zmian ciężkości. W wykonywanych bowiem jak najdokładniej doświadczeniach stwierdziłem, że zawsze ilość materji w poszczególnych ciałach jest proporcjonalna do ich ciężaru“. Wahania, zachodzące w środowiskach, stawiających opór ruchowi, tym prostym prawom naogół już nie podlegają. Newton rozpatruje zakłócenia, z jakimi mamy wtedy do czynienia, na przykładzie t. zw. wahadła cykloidalnego, to znaczy takiego, w którym punkt materialny, zawieszony na nierozciągliwej nici, opisuje nie koło, lecz cykloidę<sup>2)</sup>.

Twierdzenia, obowiązujące w tym przypadku, będą, jak wiadomo, obowiązywały i w przypadku

---

1) Jest to nieco zmienione wyrażenie znanego wzoru  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ . Mnożąc i dzieląc pod pierwiastkiem przez  $m$  i oznaczając  $mg$  przez  $Q$  — ciężar, otrzymamy twierdzenie podane w tekście.

2) P. rozdział trzeci. Wahania wahadła cykloidalnego są dla każdej obszerności wahań izochroniczne, co jak wiadomo, z wahadłem kołowym zachodzi tylko przy małych odchyleniach.

wahadła kołowego, o ile jego początkowy kąt odchylenia jest dostatecznie mały. Newton stwierdza, że okres wahania takiego wahadła tylko wtedy nie ulegnie na skutek oporu żadnej zmianie, gdy opór będzie proporcjonalny do momentów czasu lub do prędkości; z chwilą jednak, gdy opór będzie proporcjonalny do kwadratu prędkości, okres zmieniać się będzie tem bardziej, im większa jest obszerność drgań. „Drgania krótsze są bardziej izochroniczne, najkrótsze zaś zachodzić będą prawie dokładnie (*quam proxime*) w tym samym okresie czasu, co w środowisku, nie stawiającem oporu“. Podobnie ulegać będzie zmianie i obszerność wahań: stawać się ona będzie coraz to mniejsza i ze stosunku dwu lub więcej kolejnych wychyleń będziemy mogli ocenić wielkość oporu. „Na podstawie tych twierdzeń można z wahań wahadła obliczyć opór środowiska“.

O ile chodzi o zależność od prędkości, to z pomiarów wahań w powietrzu okazało się, że istotnie „opór stawiany kuli [drewnianej, zawieszonej na cienkiej nici], gdy prędzej się poruszała, był prawie dokładnie w stosunku podwójnym do prędkości; gdy wolniej, nieco większy od tego stosunku“. Porównanie oporów w powietrzu i w wodzie potwierdziło drugie założenie Newtona, że opór jest proporcjonalny do gęstości środowiska, stosunek bowiem oporu w wodzie do oporu w powietrzu wynosił „około 850 do 1, a więc prawie dokładnie tyle, co stosunek gęstości wody i powietrza“. Podobnie „opór w żywym srebrze był do oporu wody w stosunku mniej więcej takim, jak 13 lub 14 do 1: to znaczy, jak gęstość żywego srebra do gęstości wody“.



Już same te wyniki wskazują na niezwykłą dokładność doświadczeń Newtona, osiągniętą kosztem niemałych wysiłków. „W doświadczeniu nie- dość dokładnem mało dbam o dokładne rachunki“, pisze w jednym z ustępów tego działu. To też wiedząc, jak trudno jest wykryć wszystkie możliwe źródła błędów, wnioski ze swych doświadczeń formułuje bardzo oględnie. „Z opisanych już [doświadczeń] wynika, że opór [stawiany] ciałom, prędko się poruszającym, jest prawie dokładnie proporcjonalny do gęstości płynów, w których ciała się poruszają. Nie mówię dokładnie proporcjonalny. Płyny bowiem bardziej lepkie (tenaciora), przy tej samej gęstości bardziej, bezwątpienia, się opierają, niż płynniejsze (liquidiora), jak olej zimny [bardziej], niż ciepły, ciepły [bardziej], niż woda deszczowa, woda [bardziej], niż spirytus winny. W cieczach (liquoribus), które są na oko (ad sensum) dostatecznie płynne, jak w powietrzu, w wodzie słodkiej lub słonej, w spirytusie winnym, ...w oleju, uwolnionym przez destylację od zanieczyszczeń i ogrzanym, w oleju witrjelowym i rtęci, i w roztopionych metalach, i w innych, które są tak płynne, że poruszone w naczyniu dłużej zachowują nadany ruch i, swobodnie wypływając, rozpadają się, płynąc nadół, na krople, przytoczone prawidło niewątpliwie spełnia się z dostateczną dokładnością: zwłaszcza, gdy doświadczenia są wykonywane z ciałami wahadłowemi i większemi i prędzej poruszanemi“.

Należy przeto przypuszczać, że tem bardziej prawidło to spełniać się będzie w eterze — owej niezwykle płynnej substancji, która według karte-

zjanistów<sup>1)</sup> miała wypełniać całą przestrzeń. „...Niektórzy są zdania, że istnieje pewne środowisko eteryczne i najsubtelniejsze, które swobodnie przenika luki i kanały wszystkich ciał; takie przeto środowisko, płynące przez luki ciał, powinno wywoływać opór: dla sprawdzenia, czy opór, który stwierdzamy przy poruszanych ciałach, jest [związany] całkowicie z ich powierzchnią zewnętrzną, czy też nawet wewnętrzne części odczuwają na swych własnych powierzchniach dostrzegalny opór, obmyśliłem takie doświadczenie. Na nici długości jedenastu stóp, idącej od dostatecznie mocnego haka żelaznego z żelaznym pierścieniem, zawiesiłem okrągłą puszkę jodlową i w ten sposób otrzymałem wahadło oznaczonej długości. Gwóźdź... miał ostrze wypukłe, aby pierścień, opierający się na ostrzu swym łukiem górnym, mógł się zupełnie swobodnie poruszać. Do dolnego zaś łuku przywiązana była nić. Tak utworzone wahadło odchyliłem od pionu na odległość prawie sześciu stóp w płaszczyźnie prostopadłej do ostrza gwoździa, aby pierścień podczas wahań wahadła nie przesunął się w różne strony na ostrzu. Punkt bowiem zaczepienia, w którym pierścień dotyka gwoździa, powinien zostać nieruchomy. Zaznaczyłem więc dokładnie miejsce, do którego odchyliłem wahadło, następnie po puszczeniu wahadła zaznaczyłem inne trzy miejsca, do których wracało pod koniec waha-

<sup>1)</sup> Nazwa eteru zresztą była w różny sposób używana. Sam Descartes nadawał słowu temu odmienne zupełnie znaczenie od tego, jakie dziś mu nadajemy, a bardziej zbliżone do znaczenia, w jakim używał go Arystoteles (p. rozdział drugi).

nia pierwszego, drugiego i trzeciego. To powtórzałem częściej, aby wyznaczyć te miejsca z największą, jaką mogłem, dokładnością. Wtedy puszkę wypełniłem ołowiem i [innemi] cięższymi metalami, jakie były pod ręką. Przedtem jeszcze zważyłem próżną puszkę, razem z częścią nici, nawiniętą dokoła puszki, i połową części pozostałej, naciągniętej między gwoździem a puszką. Nić bowiem naciągnięta działa zawsze na wahadło odchylone od pionu połową swego ciężaru<sup>1)</sup>. Do tego ciężaru dodałem ciężar powietrza, które zawierała puszka. I cały ciężar wynosił prawie siedemdziesiąt ósmą część [ciężaru] puszki napełnionej metalami. Wtedy, ponieważ puszka napełniona metalami, rozciągając nić swoim ciężarem, zwiększała długość wahadła, skróciłem nić tak, aby długość wahającego się wahadła była ta sama co poprzednio. Następnie po odchyleniu wahadła do poprzednio oznaczonego miejsca i po puszczeniu go naliczyłem prawie siedemdziesiąt i siedem wahań, zanim puszka wróciła do miejsca za drugim razem wyznaczonego, tyleż potem, zanim puszka doszła do miejsca za trzecim razem wyznaczonego, i znów tyleż, zanim puszka... nie osiągnęła miejsca czwartego. Stąd wnioskuję, że cały opór puszki pełnej nie w większym jest stosunku do oporu puszki próżnej jak 78 do 77. Gdyby bowiem równe były opory obydwu, puszka pełna wskutek swej siły przyrodzonej

<sup>1)</sup> Środek ciężkości nici jednorodnej jest w jej środku, moment więc kierujący samej nici równy jest  $\frac{1}{2} l P$ , gdzie  $l$  długość wahadła,  $P$  — ciężar nici. Moment przeto kierujący całego wahadła będzie  $l (Q + \frac{1}{2} P)$ , gdzie  $Q$  — ciężar puszki.

siedemdziesiąt i osiem razy większej od siły przyrodzonej puszką próżnej, o tyle dłużej musiałaby zachować swój ruch wahadłowy i wracać do tych miejsc oznaczonych stale po wykonaniu 78 całkowitych wahnień. Wraca zaś do nich po 77 całkowitych wahnieniach". Z danych tego ciekawego doświadczenia można obliczyć, że „opór próżnej puszką w jej częściach wewnętrznych jest [co najmniej] pięć tysięcy razy mniejszy, niż opór jej na powierzchni zewnętrznej...”

Wniosek taki będzie, rzecz prosta, słuszny tylko wtedy, gdy założymy, że „większy opór pełnej puszką wynika nie z jakiejś innej ukrytej przyczyny, lecz jedynie z działania jakiegoś płynu subtelnego, zawartego w metalu. To doświadczenie przytaczam z pamięci. Kartka bowiem, na której to kiedyś zapisałem, spaliła się. Dlatego też zmuszony byłem opuścić ułamki liczb, które wypadły mi z pamięci”.

W rozważaniach powyższych wpływ kształtu ciał poruszanych naogół nie był brany pod uwagę, chodziło bowiem jedynie o porównanie oporów, jakich doznaje jedno i to samo ciało w różnych środowiskach. Ale już i z tych pomiarów można się było przekonać, że wymiary i kształt ciał poruszanych mogą w wysokim stopniu wpłynąć na wyniki doświadczeń. Rozpatruje ten wpływ dział VII „o ruchu płynów i oporze pocisków”. Newton rozpoczyna od ustalenia własności mechanicznych środowisk nieciągłych, złożonych z oddzielnych cząstek. W takich środowiskach „opór powstaje częściowo z sił dośrodkowych lub odśrodkowych, którymi cząstki układów wzajemnie działają na siebie,

częściowo ze zderzeń lub odbić cząstek i części większych". Wtedy również „działanie środowiska na ciało jest jednakowe zarówno wtedy, gdy ciało porusza się w spoczywającym środowisku, jak i wtedy, gdy cząstki środowiska uderzają z tą samą prędkością spoczywające ciało". Można przeto przy wyznaczaniu oporu równie dobrze zakładać, że ciało jest nieruchome i że porusza się jedynie środowisko. Na tem się opierając, wyznacza Newton zwiększenie się oporu środowiska, gdy ciało kuliste zastąpimy walcem o tym samym promieniu, oraz zależność oporu kuli od jej średnicy, i następnie rozpatruje ruch płynów w kanałach i szczelinach.

Wstępem jakby do tych ostatnich rozważań jest gruntowne zbadanie ruchu wody, wypływającej z otworu w dnie naczynia walcowatego. Wzór na prędkość wody w tym przypadku dał już o wiele wcześniej Torricelli; Newton dochodzi do tego samego wzoru, stwierdza jednak, że objętość wypływającej wody nie będzie równa iloczynowi prędkości przez pole otworu. „Nie wszystkie bowiem cząstki wody przechodzą prostopadle przez otwór; lecz te, które zewsząd od ścian naczynia spływają i zbiegają się w otworze, przechodzą ruchami ukośnemi, i spływając nadół, bieg swój wiążą w strumień (vena) wytryskującej wody, który węższy jest nieco poza otworem, niż w samym otworze, posiadając średnicę, będącą mniej więcej w takim stosunku do średnicy otworu jak 5 do 6, lub  $5\frac{1}{2}$  do  $6\frac{1}{2}$ , o ile tylko dokładnie zmierzyłem średnicę". Pomiaru dokładniejsze doprowadzają do stwierdzenia, że „ilość wody, wypływającej w danym czasie przez otwór kołowy w dnie naczynia, jest równa

tej ilości, któraby z oznaczoną prędkością wypływała w tym samym czasie nie przez ten otwór, lecz przez otwór kołowy o średnicy, będącej do średnicy tamtego otworu w stosunku 21 do 25<sup>u</sup>.

Z tego twierdzenia wypływa szereg wniosków, dotyczących głównie wielkości ciśnienia, pod jakim znajduje się wypływająca woda. Na mocy wyżej udowodnionego założenia Newton wnioski te stosuje do przypadków odwrotnych: nieruchomej cieczy i poruszających się w niej ciał. Na tej drodze ustala wielkość oporu, jakiego doznaje poruszający się w płynie walec, porównywa wpływ hamujący, jaki wywiera na ruch wody, przepływającej przez kanał, umieszczenie w nim kuli lub walca i t. d. Wreszcie przechodzi do opisu doświadczeń nad spadaniem kul w powietrzu i wodzie<sup>1)</sup>. Wyniki ich potwierdzały naogół wywody Newtona.

„W „Scholium“, dołączonem do działu VI, wykazaliśmy na podstawie doświadczeń z wahadłami, że opory, [doznawane przez] kule równe i poruszające się z tą samą prędkością w powietrzu, wodzie i żywym srebrze, są [w takim stosunku], jak gęstości płynów. To samo wykazujemy i tutaj o wiele dokładniej na podstawie doświadczeń z ciałami spadającymi w powietrzu i wodzie. Wahadła bowiem poszczególnymi wahaniami wzbudzają w cieczy ruch zawsze przeciwny ruchowi powracającego wahadła, i opór, wynikający z tego ruchu, jak i opór nici, na jakiej wahadło jest zawieszona,

<sup>1)</sup> Liczba przytaczanych doświadczeń w każdym następnem wydaniu „Zasad“ coraz to większa, w wydaniu, którem się posługujemy, dochodzi do 14.

sprawia, że cały opór wahadła jest większy niż ten, jaki wykazują doświadczenia z ciałami spadającymi... Opory więc, otrzymane z doświadczeń nad wahadłami, są (z wymienionych powodów) większe od oporów, otrzymanych z doświadczeń nad spadaniem ciał, w stosunku mniej więcej 4 do 3. Ponieważ jednak opory wahadeł, wahających się w powietrzu, wodzie i żywym srebrze, wskutek podobnych przyczyn podobnie się zwiększają, stosunek oporów w tych środowiskach, zarówno z doświadczeń nad wahadłami jak i nad ciałami spadającymi, jest wystarczająco zgodny... Stąd wynika, że twierdzenie o proporcjonalności oporu do gęstości środowiska można uważać za udowodnione. A jeśli tak, to zmniejszenie lepkości środowiska nie usunie oporu, jaki stawia ono poruszającemu się ciału. „Choćby powietrze, woda, żywe srebro i podobne płyny na skutek nieograniczonego podziału cząstek... stały się środowiskami nieskończenie płynnymi, to jednak niewiele mniejszy stawałyby opór rzuconym kulom. Opór bowiem, o którym mowa w poprzednich twierdzeniach, powstaje z bezwładności materji; a bezwładność materji jest w ciałach rzeczą istotną i zawsze proporcjonalną do ilości materji. Przez podział cząstek płynu opór, który powstaje z lepkości i tarcia części, można coprawda zmniejszyć; lecz ilość materji przez podział jej części nie zmniejsza się; i gdy pozostaje ilość materji, pozostaje również siła bezwładności, do której opór, o który tu chodzi, jest zawsze proporcjonalny. Aby ten opór się zmniejszył, zmniejszyć się musi ilość materji w przestrzeni, w której ciała się poruszają. I dlatego przestrze-

nie niebieskie, w których globy planet i komet swobodnie we wszystkich kierunkach i bez jakiegokolwiek widocznego zmniejszenia wiecznie się poruszają, są pozbawione wszelkiego płynu cielesnego, chyba może z wyjątkiem bardzo rozrzedzonych par i przechodzących promieni światła.

Pociski posuwając się wzbudzają niewątpliwie ruch w płynach; ruch ten powstaje z nadwyżki ciśnienia płynu na przednie części pocisku ponad ciśnieniem na jego części tylne i nie może być mniejszy w środowiskach nieskończone płynnych niż w powietrzu, wodzie i żywym srebrze, stosownie do gęstości każdego z tych ciał. Ta jednak nadwyżka ciśnienia, stosownie do swej wielkości, nietyle wzbudza ruch w płynie, ile działa na pocisk, opóźniając jego ruch, i dlatego opór w każdym płynie jest taki, jak ruch wzbudzony w płynie przez pocisk, nie może więc być mniejszy w najsubtelniejszym eterze, stosownie do jego gęstości, niż w powietrzu, wodzie i żywym srebrze, stosownie do gęstości tych płynów".

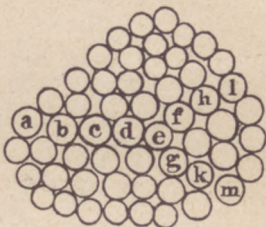
Hipoteza przestrzeni „pełnej“, w której poruszałyby się ciała niebieskie, okazuje się przeto niezgodną z doświadczeniem. Należy więc z kolei rozważyć, czy teoria wirów, unoszących planety, może pomieścić się w ramach mechaniki Newtona. W tym celu Newton przystępuje w dziale VIII do rozważenia „ruchu, rozchodzącego się poprzez płyny“, aby po ustaleniu praw, rządzących ruchem falowym, przejść do badania wirów.

Newton przedewszystkiem stwierdza, że ruch jakiegokolwiek, wzbudzony w płynie nieruchomym, nigdy nie będzie rozchodził się prostoliniowo. Wy-



nika to z samej istoty płynu, który w myśl twierdzeń poprzednio wyłożonych składa się z oddzielnych cząstek. Niech jakiegokolwiek ciśnienie będzie przyłożone do płynu w ten sposób, aby działanie jego było wywierane w kierunku linii prostej, na której leżą cząstki *a, b, c, d, e*.

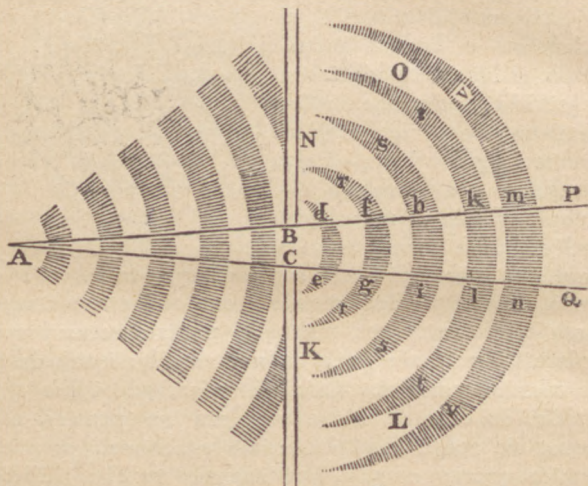
„Cząstka *e* będzie pobudzała w kierunku ukośnym cząstki *f* i *g*, położone względem niej ukośnie, cząstki zaś te *f* i *g* nie będą mogły utrzymać przyłożonego ciśnienia, jeżeli nie będą podtrzymane przez cząstki



Ryc. 35.

dalsze *h* i *k*; o ile zaś są podtrzymywane, o tyle cisną cząstki podtrzymujące; one znów nie utrzymają ciśnienia, jeżeli nie będą podtrzymane przez dalsze *l* i *m* i nie będą na nie cisnęły, i tak dalej do nieskończoności. Ciśnienie więc, gdy tylko dochodzi do cząstek, które nie leżą na prostej, zaczyna się rozgałęziać i ukośnie rozchodzić do nieskończoności; a gdy już zaczęło rozchodzić się ukośnie, to dochodząc do cząstek dalszych, nie leżących na linii prostej, znów się rozgałęzia, i tak tyle razy, ile razy natrafi na cząstkę, nie leżącą na jednej prostej“. Następujący przykład dowodzi, że obraz taki odpowiada zjawiskom, zachodzącym w płynach. „Niech ruch rozchodzi się z punktu *A* przez otwór *BC* i przechodzi, o ile to jest możliwe, do przestrzeni stożkowej *BCQP* wzdłuż linii prostych, rozchodzących się z punktu *A*. I założmy, że ruch ten jest ruchem fal na powierzchni wody

stojącej. Niech będą *de, fg, hi, kl* i t. d. najwyższymi częściami fal poszczególnych, oddzielenymi wzajemnie przez znajdujące się między nimi doliny. Ponieważ woda w wierzchołkach fal znajduje się wyżej niż w nieruchomych częściach płynu



Ryc. 36.

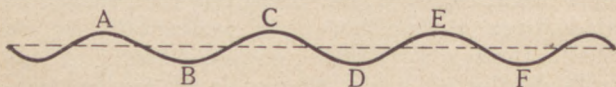
*LK, NO*, spływa więc z granic wierzchołków *e, g, i, l* i t. d. oraz *d, f, h, k* i t. d. ku *KL* i *NO*, i ponieważ w dolinach fal woda znajduje się niżej niż w nieruchomych częściach płynu *KL, NO*; spływa więc z tych nieruchomych części w doliny fal. Wskutek tego spływania wierzchołki fal, a następnie doliny rozszerzają się i rozchodzą ku

*KL* i *NO*. I ponieważ ruch fal od *A* do *PQ* zachodzi na skutek ciągłego spływania wierzchołków do najbliższych dolin, i wobec tego nie może być prędszy niż odpowiednio do prędkości spadania, spadanie zaś wody stąd ku *KL* i *NO* musi zachodzić z tą samą prędkością, rozszerzanie się fal ku *KL* i *NO* będzie odbywało się z tą samą prędkością, z jaką same fale posuwają się wprost od *A* ku *PQ*. Wobec tego cała przestrzeń ku *KL* i *NO* będzie zajęta rozszerzonymi falami *rfgr*, *shis*, *tklt*, *vmnv* i t. d."

Podobnie będzie z „uderzeniami“ (pulsus), rozchodzącymi się w jakimkolwiek płynie sprężystym. Jedyna różnica polegać będzie na tem, że tym razem siła sprężystości zastąpi siłę ciężkości. Gdy więc w środowisku takim umieścimy ciało drgające (tremulum), to wywołane przez ruch jego części zgęszczenia i rozrzedzenia środowiska rozchodzić się będą we wszystkie strony. „Jakkolwiek bowiem części ciała drgającego idą i wracają w pewnym i oznaczonym kierunku, to jednak uderzenia, rozchodzące się stąd przez środowisko, będą rozszerzały się na boki... i rozchodziły się we wszystkie strony od tego ciała drgającego, jakby od wspólnego środka, tworząc powierzchnie bezmała kuliste i współśrodkowe“. Jeżeli jednak środowisko nie jest sprężyste, to „ponieważ części jego, naciskane przez drgające części poruszanego ciała, nie mogą ulec zgęszczeniu, ruch... przejdzie do tych części, gdzie środowisko ustępuje najłatwiej, to znaczy, do części, które ciało drgające pozostawia z tyłu za sobą próżnemi... środowisko więc, uchodząc od części, gdzie jest ściskane, przejdzie zawsze po kole do części, które

mu ustępują". Którykolwiek jednak z tych przypadków będziemy rozpatrywali, objaśnienie, jakie kartezjaniści, a w ich liczbie i Hooke dawali rozchodzeniu się światła, nie wytrzymuje krytyki. „Błądzą [bowiem] ci, którzy przypuszczają, że ruch części płomienia może doprowadzić do ciśnienia, któreby rozchodziło się poprzez otaczające środowisko wzdłuż linii prostych. Tego rodzaju ciśnienie musiałoby być wywołane nie przez sam ruch cząstek, lecz przez rozszerzenie się całego płomienia”.

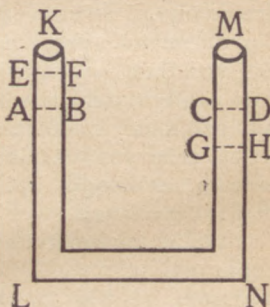
Długość fali (szerokość — latitudo, według terminologii Newtona), to znaczy „ta miara poprzeczna, która leży między najniższymi punktami dolin lub najwyższymi gór”, może służyć w przypadku fal wodnych do wyznaczenia prędkości fal. Prędkość ta jest bowiem proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z długości fali. „Niech [bowiem] ABCDEF oznacza powierzchnię wody stojącej,



Ryc. 37.

wznoszącą się i opadającą w kolejnych falach”. Najwyższy poziom A i najniższy B możemy uważać za chwilowe poziomy wody, drgającej w naczyniu KLMN, długość zaś słupa cieczy za równą w przybliżeniu odległości poziomej AB. Wtedy jednak, jak to Newton w obszernym wywodzie uza-

sadnia, okres wahania tej wody będzie równy okresowi wahania wahadła o długości  $\frac{1}{2}$  AB. W czasie więc, w ciągu którego wahadło takie wykona jedno wahanie, w A powstanie dolina fali, w B góra, ruch przesunie się zatem o połowę fali. O całą zatem falę przesunie się w czasie dwu wahanieć poprzedniego wahadła lub też w czasie jednego wahaniecia wahadła czterokrotnie dłuższego, t. zn. o długości równej długości fali AC. Prędkość zatem fal proporcjonalna do przebieżonej drogi, t. j. długości fali, i odwrotnie proporcjonalna do zużytego na to czasu, a więc do pierwiastka kwadratowego z długości fali, będzie ostatecznie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z długości fali. „Tak rzeczy się mają przy założeniu, że części wody pionowo podnoszą się lub opadają; lecz podnoszenie się i opadanie zachodzi raczej (verius) wzdłuż kół, wobec czego uważam, że czas jest jedynie w przybliżeniu wyznaczony przez powyższe twierdzenie.“



Ryc. 38.

Tę uwagę co do istotnej drogi cząstki wodnej, świadcząca raz jeszcze o zdumiewającej dokładności obserwacji Newtona, rozwinął następnie w 1825 r. bracia Emil i Wilhelm Weberowie w swej teorii fal, powstających pod działaniem siły ciężkości.

W podobny sposób można wyznaczyć prędkość rozchodzenia się zaburzeń w środowiskach sprę-

zystych i udowodnić, że „prędkość zakłóceń będzie odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z gęstości i wprost proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z siły sprężystej“.

Powyższe twierdzenia nie mogą dotyczyć światła, które „rozchodzi się prostoliniowo“, a więc nie może polegać „jedynie na tego rodzaju działaniu“. Można je zato zastosować do głosu: „Dźwięki bowiem, które są wzbudzone przez ciała drgające, nie są niczem innym, jak uderzeniami powietrza, rozchodzącymi się zgodnie [z powyższymi twierdzeniami]“. Newton przeto stosuje swoje wzory do obliczenia prędkości rozchodzenia się głosu w powietrzu. Wynik jednak jego rachunków (979 stóp londyńskich na sekundę)<sup>1)</sup> tak dalece odbiegał od ustalonej podówczas doświadczalnie wartości (1142 stóp londyńskich na sekundę)<sup>2)</sup>, że rozbieżność ta nie mogła być przypisana przypadkowym błędom pomiaru.

Źródła tej rozbieżności, które wykryje (1819 r.) dopiero Laplace (1749—1827)<sup>3)</sup>, Newton znaleźć nie mógł, za jego bowiem czasów zjawiska ciepłe były jedną z najmniej zbadanych dziedzin fizyki. Starał się też usunąć ją z pomocą różnych dodatkowych założeń: wpływu pary, znajdującej się w powietrzu, uwzględnienia średnicy cząstek powietrza i t. d. Ale nawet w tej niewykończonyj postaci dział „o ruchu rozchodzącym się poprzez

<sup>1)</sup> Mniej więcej 298,6 m/sek.

<sup>2)</sup> Około 348 m/sek.

<sup>3)</sup> W zmianach temperatury zgęszczanego i rozrzedzanego środowiska.

ciecze", jest jednym z najgodniejszych podziwu ustępów „Zasad”.

Rozważania nad „ruchem kołowym płynów”, stanowiące treść ostatniego (IX) działu księgi drugiej, poprzedza wyodrębniona oddzielnym nagłówkiem „hipoteza”, dotycząca wartości tarcia wewnętrznego w płynach. „Opór, który powstaje z braku śliskości (lubricitas) części płynu, w tych samych pozostałych warunkach jest proporcjonalny do prędkości, wskutek której części płynu wzajemnie się rozdzielają”.

Tem założeniem podstawowym posiłkuje się Newton we wszystkich wywodach tego działu. Pierwszy z nich dotyczy ruchu kołowego, w jaki zostaje wprowadzony płyn pod działaniem umieszczonego w nim stałego walca nieograniczonej długości, obracającego się koło własnej osi ruchem jednostajnym. Ruch walca będzie stopniowo udzielał się coraz to dalszym warstwom płynu, które będą poruszały się coraz prędzej, dopóki okresy ich obiegów nie staną się proporcjonalne do odległości danej warstwy od wspólnej osi obrotu. W ważniejszym — z uwagi na cel tych badań — przypadku kuli, umieszczonej w jednorodnym i nieograniczonym płynie i obracającej się dookoła oznaczonej osi, czasy obiegów będą ostatecznie proporcjonalne do kwadratów odległości od osi obrotu. I w pierwszym przypadku i w drugim ciało, wzbudzające ruch obrotowy, będzie „udzielało ruchu płynowi”, części zaś wewnętrzne wiru — częściom dalej położonym; „jest [przeto] rzeczą oczywistą, że ruch będzie wечно przenoszony od środka do obwodu wiru i pochłaniany przez nieskończo-

ność obwodu". Po dojściu do ruchu statecznego, wyznaczonego przez dwa wyżej podane twierdzenia, „materja między dwiema dowolnemi współśrodkowemi powierzchniami wiru nigdy nie będzie doznawała przyspieszenia<sup>1)</sup>, a to dlatego że cały ruch pobrany przez materję wewnętrzną przenosi się zawsze na zewnętrzną". Stąd wynika, że „dla zachowania wiru zawsze w tym samym stanie ruchu musi być znaleziona jakaś zasada czynna, któraby stale nadawała kuli tę ilość ruchu, jakiej udziela materji wiru. Bez takiej zasady kula i wewnętrzne części wiru, przenoszące stale swój ruch na części zewnętrzne i nie otrzymujące żadnego nowego ruchu, będą z konieczności powoli się opóźniały i przestawały poruszać się po kole". Jeżeli teraz pogrążymy do tego wiru w pewnej odległości od osi inną kulę i nadamy jej ruch obrotowy, to wytworzy ona nowy niewielki wir, który początkowo będzie wspólnie z kulą obracał się dookoła pierwszej kuli, następnie zaś podobnie do poprzedniego będzie stopniowo rozchodził się do nieskończoności. „I w tym samym stopniu, w jakim kula tego wiru będzie porywana przez ruch drugiego wiru, kula drugiego będzie porywana przez ruch pierwszego, tak że obiedwie kule będą się obracały dookoła pewnego punktu pośredniego i wskutek swego ruchu kołowego wzajemnie od siebie oddalały, o ile nie przeszkodzi im jakaś siła. Później zaś, gdy znikną siły stale przyłożone, dzięki którym kule trwają w swoich ruchach... ustanie powoli ruch kul... i wiry zanikną".

---

<sup>1)</sup> Mowa tu, oczywiście, o przyspieszeniu stycznem.



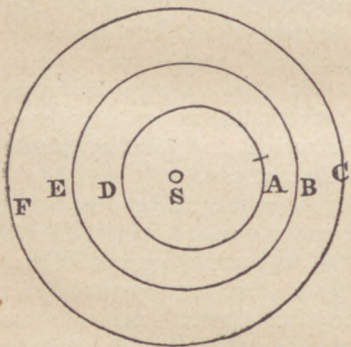
Podobne zajdzie zjawisko, gdy w istniejącym już wirze wytworzymy nie jeden, lecz więcej wirów. „Wiry te nie będą miały oznaczonych granic, lecz stopniowo będą się wzajemnie zbiegały; kule na skutek wzajemnych działań wirów stale będą się poruszały ze swych miejsc, jak to... wyżej jest objaśnione; i nie będą zachowywały oznaczonych wzajemnych położeń, o ile nie będą utrzymywane przez jakieś siły“.

Ustalone w ten sposób własności wirów służył Newtonowi do rozstrzygnięcia zagadnienia, czy i jak można „zjawiska niebieskie objaśnić przez wiry“. Taki bowiem, jak to wyraźnie zaznacza, był cel wszystkich rozważań tego działu. Otóż jednym z takich zjawisk jest obrót księżyców dookoła Jowisza. Okresy tych obrotów są w takim stosunku, jak pierwiastek kwadratowy z trzeciej potęgi odległości od środka Jowisza; „i to samo prawidło obowiązuje również i w [ruchu] planet, obracających się dookoła słońca“.

„Jeżeli więc planety te są unoszone przez wiry dookoła Jowisza i słońca, muszą również i te wiry wykonywać obrót według tego samego prawa. W rzeczywistości okresy części wiru są w podwójnym stosunku [do odległości] od środka ruchu: i stosunek ten nie może się zmniejszyć i obniżyć do stosunku półtoracznego, chyba wtedy, gdy materia wiru będzie tem płynniejsza, im bardziej będzie oddalona od środka<sup>1)</sup> lub gdy opór, powstający z braku śliskości części płynu, przy wzrastającej

<sup>1)</sup> Porówn. założenia Kartezjusza co do budowy wirów (rozdział drugi).

prędkości, wskutek której części płynu wzajemnie się rozdzielają, wzrasta w stosunku większym niż prędkość. To jednak nie ma, jak się zdaje, żadnego uzasadnienia... Wobec tego niech filozofowie rozpatrzą, jakim sposobem można zjawisko tego półtoraczego stosunku wytłumaczyć przy pomocy wirów<sup>11</sup>. Dla Newtona niemożliwość pogodzenia teorii wirów ze zjawiskami niebieskimi jest oczywista. Tem bardziej, że do wszystkich wyżej podanych argumentów dołączy jeszcze jeden, a mianowicie, że ciało stałe wtedy tylko będzie mogło poruszać się w wirze ruchem kołowym, gdy gęstość jego będzie równa gęstości płynu, do którego



Ryc. 39.

jest zanurzone. W każdym innym przypadku będzie poruszało się po spirali, przyczem ciało gęstsze będzie oddalało się od osi wiru, ciało rzadsze przybliżało. Jest więc rzeczą oczywistą, że planety nie są unoszone przez wiry cielesne. Planety bowiem, zgodnie z hipotezą Kopernika unoszone koło słońca, opisują elipsy, mające ognisko w słońcu, przyczem promienie, przeprowadzone ze słońca, opisują pola proporcjonalne do czasów. Części zaś wiru nie mogą poruszać się w ten sposób. Niech AD, BE, CT będą trzema orbitami,

opisanemi dokoła słońca  $S$ , z których najbardziej zewnętrzna  $C$  niech będzie kołem współśrodkowem do słońca, w dwóch zaś wewnętrznych niech punktami odśłonecznymi będą  $A, B$ , przysłonecznymi  $D, E$ . Ciało więc, które obraca się na orbicie  $CF$ , przyczem promień, przeprowadzony ze słońca, opisuje pola proporcjonalne do czasu, będzie poruszało się ruchem jednostajnym. Ciało, które obraca się na orbicie  $BE$ , będzie zgodnie z prawami astronomji wolniej poruszało się w punkcie odśłonecznym  $B$  i prędzej w przysłonecznym  $E$ ; tymczasem, zgodnie z prawami mechaniki, materja wiru w węższej przestrzeni między  $A$  i  $C$  powinna się poruszać prędzej niż w szerszej przestrzeni między  $D$  i  $F$ ; to znaczy prędzej w punkcie odśłonecznym niż w przysłonecznym...

Hipoteza wirów jest zatem całkowicie sprzeczna ze zjawiskami astronomicznymi i prowadzi nietylko do wyjaśnienia ile do zakłócenia ruchów niebieskich. W jaki zaś sposób zachodzą te ruchy w przestrzeniach swobodnych od wirów, można zrozumieć z pierwszej księgi, o tem [zresztą] obszerniej pouczy „Układ Świata“.

Ta bowiem trzecia i ostatnia księga „Zasad“ ma inny od poprzednich charakter. Dwie pierwsze uwzględniały raczej matematyczną stronę „Zasad“, podając i wyjaśniając „prawa ruchów i sił“. Jedynie dlatego, aby „nie wydawały się [rozważania tej] bezpłodnymi“, uzupełnił je Newton pewnymi „scholjami filozoficznymi, rozpatrując w nich to, co nosi cechę ogólności, i na czem, jak się zdaje, najbardziej wspiera się filozofja, naprzykład gęstość ciał i opór, przestrzenie wolne od ciał, ruch

światła i dźwięku"; księga zaś trzecia zawiera wykład budowy świata, oparty na wyłożonych poprzednio zasadach. Jest ona przeto bardziej „filozoficzną”. Ale to pociąga za sobą konieczność ustalenia „prawideł filozofowania” (regulae philosophandi). W wydaniu pierwszym „Zasad” prawideł tych było trzy; w wydaniach następnych zostało dołączone prawidło czwarte na skutek, jak się zdaje, zarzutów, z jakimi spotkały się pewne ustępy „Zasad”.

Prawidło pierwsze Newton wyraża w sposób następujący: „Nie powinno się dopuszczać więcej przyczyn niż te, które są prawdziwe i wystarczające do wyjaśnienia zjawisk”. Zawilości i niejasności tego sformułowania nie usuwa całkowicie krótkie wyjaśnienie, którem prawidło to jest uzupełnione: „Uczą tak filozofowie: przyroda nic nie czyni nadaremnie, a próżnem byłoby stawianie się na skutek wielu przyczyn tego, co może stać się na skutek mniejszej ich ilości. Przyroda bowiem jest prosta (simplex) i nie nadużywa zbytecznych przyczyn rzeczy”.

Prawidło drugie stwierdza jedność przyczyn w jednakowych zjawiskach. „Zjawiskom przyrody tego samego rodzaju należy przypisać, o ile tylko to jest możliwe, te same przyczyny”, a więc, jak to odrazu wyjaśnia Newton: „oddechowi człowieka i zwierzęcia, spadaniu kamienia w Europie i Ameryce; światłu w ogniu kuchennym i słońcu, odbiciu światła na ziemi i na planetach”.

Po tych dwu prawidłach, nie zawierających naogół żadnej myśli, któraby nie była już dawniej znana i stosowana w badaniu naukowym, Newton

podaje prawidło trzecie, napozór równie jak i poprzednie bezsporne, zaopatrzone jednak w obszerny komentarz, nadający mu nową pod wielu względami wykładnię i skierowany przedewszystkiem przeciwko szkole Kartezjusza. „Jakości ciał, które nie mogą zwiększać się lub zmniejszać, a przynależą wszystkim ciałom, z jakimi można wykonywać doświadczenia, należy uważać za takie, które posiadają wszystkie ciała“. Na tem prawidło, które Descartes'a doprowadziło do przypisania materji jedynie rozciągłości, Newton opiera dowód istnienia wielu własności ciał. Poza rozciągłością przedewszystkiem twardość. „Doświadczamy, że większość ciał jest twarda. Powstaje zaś twardość całości z twardości części, i dlatego słusznie uważamy, że twarde są nietyle te ciała, których [twardość] odczuwamy, lecz niepodzielne cząstki również wszystkich innych ciał“. Następnie nieprzenikliwość. „To, że wszystkie ciała są nieprzenikliwe, stwierdzamy nie rozumowaniem (ratione), lecz zmysłami. Te, których dotykamy, okazują się nieprzenikliwemi, i stąd wnioskujemy, że nieprzenikliwość jest własnością wszystkich ciał“. Wreszcie łatwość poruszania się (mobilitas). „Z tych własności widzialnych ciał dorozumiewamy się, że wszystkie ciała mogą się poruszać i dzięki pewnym siłom (które nazywamy siłami bezwładności) trwają w ruchu lub spoczynku. Rozciągłość, twardość, nieprzenikliwość, łatwość ruchu i siła bezwładności całego [ciała] pochodzi z rozciągłości, twardości, nieprzenikliwości, łatwości ruchu i siły bezwładności części: i stąd wnioskujemy, że wszystkie wszystkich ciał najmniejsze części są

rozciągle, twarde, nieprzenikliwe, mogące się poruszać i obdarzone siłami bezwładności. I to jest podstawą całej filozofji". Nie oznacza to jednak, aby ciała miały się składać z atomów. Tej sprawy Newton nie chce rozstrzygać. „Wiemy ze zjawisk, że można oddzielać podzielne i przylegające do siebie części ciał; matematyka zaś nas upewnia, że możemy rozumowaniem odróżniać części, nie dające się podzielić na części mniejsze. Z drugiej strony jest rzeczą niepewną, czy istotnie te odrębne i niepodzielne przez siły przyrody części można dzielić i oddzielać jedną od drugiej. Ale jeżeli jedyne choćby doświadczenie stwierdzi, że jakaś niepodzielna cząstka przy złamaniu ciała twardego i stałego wykaże podział, będziemy twierdzili na mocy tego prawidła, że nietylko podzielne części mogą być oddzielane, lecz że również niepodzielne można dzielić do nieskończoności”.

Do tych wszystkich własności ciał dochodzi jeszcze ciężkość. „Jeżeli dalej doświadczenia i spostrzeżenia astronomiczne powszechnie stwierdzają, że wszystkie ciała w obszarze ziemi są ciężkie względem ziemi, stosownie do ilości materji w każdym z nich, i księżyc, stosownie do swej ilości materji ciężki jest względem ziemi, i odwrotnie morze nasze jest ciężkie względem księżyca, i wszystkie planety są wzajemnie względem siebie ciężkie, i że podobna jest ciężkość komet względem słońca; to, opierając się na tem prawidle, należy powiedzieć, że wszystkie ciała ciążą wzajemnie ku sobie. Dowód [ten] będzie nawet silniejszy niż przy nieprzenikliwości ciał, na który nie mamy żadnego dowodu doświadczalnego

w ciałach niebieskich ani też w żadnej obserwacji". To kateryczne zaliczenie ciężkości do „przyrodzonych” własności materji w następnych wydaniach uległo znacznemu złagodzeniu przez dodanie następującego ustępu: „Mimo to wcale nie twierdzą, aby ciężkość była czemś istotnem (essentialem) dla ciał. Przez siłę przyrodzoną rozumiem tylko siłę bezwładności. Jest ona niezmienna. Ciężkość przy oddalaniu się od ziemi staje się mniejsza”.

Istotę jednak metody badawczej Newtona wyraża dopiero prawidło czwarte. „W filozofji doświadczalnej twierdzenia, otrzymane na drodze indukcji z [badania] zjawisk, należy mimo istnienia hipotez przeciwnych uważać albo za całkowicie słuszne albo też za możliwie bliskie prawdy, dopóki nie napotkamy zjawisk, dzięki którym staną się one albo dokładniejszymi albo też dopuszczającymi wyjątki”. Inaczej dowód, oparty na indukcji, mógłby być obalony przez hipotezę, co musimy uważać za wykluczone.

Bezpośrednie zastosowanie „prawidła filozofowania” znajdują w dalszych ustępach księgi „O układzie świata”. Z pomiędzy nieskończonej mnogości zjawisk fizycznych wybiera Newton przede wszystkim te, które dotyczą ruchu ciał niebieskich. Są one zestawione w rozdziale następnym, zatytułowanym „Zjawiska” (Phaenomena). Nie jest to jednak opis tych ruchów niebieskich, jakie istotnie możemy obserwować bezpośrednio. Jest to raczej krótkie przypomnienie drugiego i trzeciego prawa Keplera, uogólnionego na ruchy księżyców Jowisza i Saturna. Newton stwierdza, że zarówno planety układu słonecznego, jak i księ-

zyce Jowisza i Saturna, poruszają się w ten sposób, że kwadraty czasów ich obiegów dookoła słońca, Jowisza lub Saturna są proporcjonalne do trzecich potęg odległości od gwiazdy, dookoła której opisują swe drogi, pola zaś opisane przez promienie wodzące, są proporcjonalne do czasu. Newton dwukrotnie zaznacza, że prawa te w przypadku planet układu słonecznego obowiązują zarówno wtedy, gdy za środkowe ciało układu weźmiemy słońce, jak i wtedy, gdy założymy, że ciałem tem jest ziemia, a więc jest niezależne od przyjęcia lub odrzucenia teorii Kopernika. O ile chodzi o księżyc ziemski, to rzecz prosta, stosować się do niego może tylko pierwsze i drugie prawo Keplera. Newton mówi tylko o prawie drugim: „księżyc promieniem, przeprowadzonym do środka ziemi, opisuje pola proporcjonalne do czasu“.

Zastosowanie prawideł filozofowania do tych praw „odkrytych przez Keplera i ogólnie przyjętych“ prowadzi do twierdzeń, ustalających wielkość i rodzaj sił, działających na ciała niebieskie. Wystarczy tylko przypomnieć, jakie to siły, według twierdzeń księgi I, powodują ruch podobny do opisanego wyżej ruchu planet, aby na mocy pierwszego i drugiego prawidła dojść do wniosku, że na planety oraz księżyce Jowisza, Saturna i ziemi działają siły, skierowane ku środkowi słońca, Jowisza, Saturna lub ziemi, i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości między dwoma danymi ciałami niebieskimi. One to „stale odchylają [dane ciało] od ruchu prostoliniowego i utrzymują je na orbicie“. Siły te są siłami



ciężkości. W przypadku księżycy ziemskiego to ostatnie założenie możemy sprawdzić bezpośrednio, przez porównanie dośrodkowego przyspieszenia księżycy z przyspieszeniem spadających ciał ziemskich. Pomiary astronomiczne dają nam wszystkie potrzebne do tego liczby.

Za najprawdopodobniejszą wartość przeciętnej odległości księżycy od ziemi można uważać wartość, wyznaczoną przez Huygensa, a mianowicie 60 promieni ziemskich. Pomiary francuskie (a Gallis mesurantibus)<sup>1)</sup> dały na obwód ziemi 123 249 600 stóp paryskich<sup>2)</sup>. Stąd można obliczyć przyspieszenie księżycy, okres bowiem jego obrotu wynosi 27 dni 7 godzin 43 minuty<sup>3)</sup>. Newton oblicza jednak nie przyspieszenie, lecz drogę, przebytą przez księżyc w ciągu jednej minuty w kierunku ziemi, i znajduje, że jest ona równa  $15\frac{1}{2}$  stopy paryskiej lub dokładniej — 15 stopom, 1 calowi,  $1\frac{1}{3}$  linji. Jeżeli więc siła, działająca na księżyc, jest tą samą siłą, z którą ziemia przyciąga ciała ziemskie, to droga, przebyta w ciągu 1 minuty przez spadające ciało ziemskie, powinna wynosić  $60 \times 60 \times 15\frac{1}{2}$  stopy, w ciągu zaś 1 sekundy  $15\frac{1}{2}$  stopy lub raczej 15 stóp 1 cal  $1\frac{1}{3}$  linji<sup>4)</sup>. Otóż tę samą wartość otrzymał Huygens z pomiarów, wykonanych przy użyciu wahadła. „Wobec tego, gdyby księżyc ob-

1) Newton ma tu na myśli słynne pomiary Picarda, wykonane w r. 1671.

2) Stopa paryska = 12 calom = 144 linjom = 32,5 cm.

3) Ze wzoru  $a = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ .

4) Wynosi to mniej więcej 490,2 cm, przyspieszenie więc równe jest 980,4 cm/sek<sup>2</sup>.

nizył się do powierzchni ziemi, siła, która utrzymuje księżyc na orbicie, wypadłaby równa sile ciężkości u nas, a więc jest tą samą siłą, którą zwykliśmy nazywać ciężkością“.

Obroty planēt dookoła słońca i księżyców dookoła Jowisza lub Saturna są zjawiskami „tego samego rodzaju, co obrót księżyca dookoła ziemi“; można przeto twierdzenie powyższe, udowodnione dla księżyca ziemskiego, rozciągnąć na wszystkie planety. Ciężkość stanie się wtedy własnością wszystkich ciał układu słonecznego. „Wszystkie planety ciążą wzajemnie ku sobie. I dlatego Jowisz i Saturn, znajdując się blisko złączenia (conjunctio), przyciąganiem wzajemnem znacznie zakłócają swe ruchy, słońce zakłóca ruchy księżycowe, słońce i księżyc zakłócają nasze morze...“

Stąd więc wynika, że nietylko ziemia, lecz i każda z planēt przyciąga poszczególne ciała. Można wykazać, że to przyciąganie — ciężar danego ciała — jest w danej odległości od środka planety proporcjonalne do ilości zawartej w niem materji. Dla ciał ziemskich dowodzą tego pomiary czasu spadania ciał, a szczególnie doświadczenia z wahadłem. „Już dawno inni zauważyli, że wszystkie ciężkie ciała ziemskie spadają (pominąwszy niejednakowe opóźnienia, wywołane przez bardzo mały opór powietrza) w tym samym czasie; tę równość czasów można najdokładniej stwierdzić w wahadłach. Wypróbowałem to ze złotem, srebrem, ołowiem, szkłem, piaskiem, zwykłą solą, wodą, pszenicą. Porównywałem dwa drewniane naczynia, okrągłe i równe. Jedno napełniłem drzewem, w drugim zaś zawiesiłem (jak tylko mogłem dokładnie) w jego środku

wahań ten sam ciężar złota. Naczynia, zawieszona na równych jedenastostopowych niciach, stanowiły wahadła, całkowicie podobne co do ciężaru, kształtu i oporu powietrza; umieszczone obok siebie szły razem, w równych wahaniami, i powracały przez bardzo długi przeciąg czasu. Stąd zasób (copia) materji w złocie był do zasobu materji w drzewie, jak działanie na całe złoto siły poruszającej do tegoż działania na całe drewno, — to znaczy, jak ciężar do ciężaru<sup>1)</sup>. I tak jest w pozostałych przypadkach...“ „Jest rzeczą niewątpliwą, że istota ciężkości jest tą samą na planetach, co i na ziemi. Załóżmy, żeśmy podnieśli te ciała ziemskie aż do orbity księżycy i razem z księżycem, pozbawionym wszelkiego własnego (privata) ruchu, wypuścili tak, aby jednocześnie spadały na ziemię; na mocy wyżej podanego jest rzeczą pewną, że w równych czasach opiszą takie jak i księżyc przestrzenie; a to dlatego, że są w takim stosunku do ilości materji na księżycu, jak ich ciężary do jego ciężaru... Siły zatem, które nierówne ciała jednakowo przyspieszają, są w takim stosunku jak ciała<sup>2)</sup>, to znaczy, ciężary jak ilości materji w planetach“. Stąd wynika ważny wniosek, który można uważać za pierwsze sformułowanie prawa ciężenia powszechnego. „...Ciężary poszczególnych części jakiegokolwiek planety względem jakiegokolwiek innej są w takim stosunku, jak materje tych poszczególnych części. Jeżeliby bowiem pewne części bardziej

1) Wobec równości przyspieszeń siły są w myśl drugiego prawa ruchu wprost proporcjonalne do mas.

2) T. zn. masy ciał (por. określenie pierwsze, rozdział szósty).

ciężły, inne mniej, niż to odpowiada ilości materji, cała planeta, zależnie od rodzaju części, w któreby najbardziej obfitowała, ciężłyaby więcej lub mniej, niż to odpowiada całkowitej ilości materji. I to niezależnie, czy części są wewnętrzne czy zewnętrzne. Jeżeli bowiem założymy, że ciała ziemskie, znajdujące się u nas, podniesione są, że tak powiem, do orbity księżyca i przyłożone do ciała księżyca, to gdyby ich ciężary były w takim stosunku do ciężarów zewnętrznych części księżyca, jak zawarte w nich ilości materji, do ciężarów zaś części wewnętrznych w stosunku mniejszym lub większym, byłyby wtedy do ciężaru całego księżyca w stosunku mniejszym lub większym: a to byłoby sprzeczne z tem, co było wyżej stwierdzone“.

Ciężar zatem ciał nie zależy również od ich kształtu. Gdyby bowiem zmieniał się wraz z kształtem ciała, mógłby tej samej ilości materji odpowiadać w zależności od jej kształtu inny ciężar — „to zaś jest sprzeczne z doświadczeniem“. Proporcjonalność ciężaru i masy jest własnością wszystkich ciał, z jakimi można wykonywać doświadczenia, i wobec tego, zgodnie z prawidłem trzecim, należy ją przypisać wszystkim wogóle ciałom. Eter nie może stanowić wyjątku. „Gdyby bowiem eter lub jakiegokolwiek inne ciało było albo całkowicie pozbawione ciężkości lub też ciężłyo mniej, niż to odpowiada ilości materji, to ponieważ [ciało takie] (według poglądów Arystotelesa, Kartezjusza i innych) różni się od innych ciał jedynie kształtem materji, mogłyby ono, zmieniając stopniowo swój kształt, przemienić się w ciało o tych samych własnościach co te, które stosow-

nie do ilości materji ciężą jak najwięcej, i odwrotnie, ciała najcięższe (*maxime gravia*), przybierając stopniowo kształt tamtego, mogłyby ciężkość swoją zmniejszać stopniowo". A wtedy ciężar zmieniłby się w zależności od kształtu, co jak było wyżej powiedziane, jest niemożliwością. Stąd wynika również, że materji nie można identyfikować z przestrzenią. „Nie wszystkie przestrzenie są jednakowo pełne. Gdyby bowiem wszystkie przestrzenie były porównywalnie pełne, ciężkość właściwa płynu, którym byłaby wypełniona dziedzina powietrza,... w niczemby nie ustępowała ciężkości właściwej żywego srebra lub złota, lub jakiegokolwiek innego najgęstszego ciała; i wobec tego ani złoto ani jakiegokolwiek inne ciało nie mogłoby spadać w powietrzu... A jeżeli ilość materji w danej przestrzeni możemy zmniejszyć przez dowolne rozrzedzenie, to dlaczego nie moglibyśmy zmniejszyć jej nieskończenie?"

Ale to rozumowanie opiera się na pewnym założeniu, które Newton podaje jako następny z kolei wniosek, że wszystkie „stałe cząstki wszystkich ciał posiadają tę samą gęstość". Jeżeli to założenie odrzucimy, dowody istnienia próżni przestają być oczywistymi. Newton założenia tego nie popiera żadnym dowodem; poprzestaje tylko na zaznaczeniu, co rozumie przez gęstość cząstek. „Nazywam [cząstkami] jednakowej gęstości [te], których siły bezwładności są w stosunku takim jak wielkości."

Proporcjonalność siły ciężkości do masy odróżnia ten rodzaj siły od pozornie podobnej do niej siły magnetycznej. „Przyciąganie magnetyczne nie

jest w stosunku takim, jak przyciągana materja. Niektóre ciała bardziej są ciągnione, inne mniej, inne wcale nie są ciągnione. I siła magnetyczna w jednym i tem samym ciele może wzrastać i zmniejszać się, i jest niekiedy o wiele większa w stosunku do ilości materji niż siła ciężkości, i przy oddalaniu się od magnesu maleje nie w stosunku podwójnym do odległości, lecz prawie potrójnym, o ile mogłem wywnioskować z pewnych przybliżonych spostrzeżeń (ex crassis observationibus)". Co więcej, nie wszystkie ciała są magnesami, podczas gdy „ciężkość ujawnia się we wszystkich ciałach i jest proporcjonalna do ilości materji, zawartej w poszczególnem ciele". Dowód, jakim Newton popiera to twierdzenie, wyrażające zasadę ciężenia powszechnego, opiera się w istocie na powtórzeniu wywodów poprzednich, które staną się dla fizyki założeniami podstawowemi w badaniach nietylko zjawisk mechanicznych, lecz również elektrycznych i magnetycznych. „Powstaje... i składa się ciężkość względem całej planety z ciężkości względem poszczególnych jej części. Czego przykład mamy w przyciąganiach magnetycznych i elektrycznych. Powstaje bowiem całkowite przyciąganie względem całości z przyciągań względem części poszczególnych. W ciężkości należy to tak pojmować, że wyobrażamy sobie wiele planet mniejszych, łączących się w jedną kulę i tworzących planetę większą. Siła bowiem całości będzie musiała powstać z sił części składowych. Jeżeli ktoś zarzuci, że wszystkie ciała, jakie są u nas, musiałyby zgodnie z tem prawem wzajemnie się przyciągać, a jednak tego rodzaju ciężkości nigdy w najmniejszym stopniu

nie odczuwamy, odpowiem, że ciężkość względem tych ciał, będąca w takim stosunku do ciężkości całej ziemi, w jakim znajdują się te ciała do całej ziemi, jest o wiele mniejsza od tej, którą moglibyśmy odczuwać“.

Stosując odpowiednio powyższe twierdzenia, można wyznaczyć ciężar tego samego ciała względem słońca i różnych planet, porównać masy ciał niebieskich i nawet znaleźć stosunek ich gęstości. Newton wyprowadza, że naogół gęstość planet jest tem większa, im bliżej dana planeta znajduje się słońca, a więc Jowisz jest gęstszy od Saturna, ziemia od Jowisza, planety wewnętrzne od ziemi. Taki wniosek jest w zgodzie z danymi, które otrzymać można na innej jeszcze drodze. „Woda nasza zamarzałaby, gdyby ziemia znalazła się na orbicie Saturna, przechodziłaby stale w parę, gdyby ziemia była na orbicie Merkurego. Światło bowiem słońca, do którego ciepło jest proporcjonalne, jest siedem razy gęstsze na orbicie Merkurego niż u nas: a doświadczalnie przekonałem się z pomocą termometru, że woda wre przy ciepłe siedmiokrotnie większem od ciepła słońca letniego. Jest istotnie rzeczą niewątpliwą, że materja Merkurego przystosowuje się do ciepła i dlatego gęstsza jest niż ta nasza; gdyż każda gęstsza materja... wymaga większego ciepła<sup>1)</sup>).

---

<sup>1)</sup> O budowie termometru, którym Newton się posługiwał, w „Zasadach“ niema żadnej wzmianki. Opis jego podał Newton znacznie później (w 1704 r.) wraz z opisem badań nad ostyganiem ciał, wykonanych, jak wynika z przytoczonego ustępu, przed napisaniem „Zasad“. Twierdzenie o proporcjonalności ciepła właściwego do gęstości zostało obalone ostatecznie dopiero przez Blacka (1728—1791).

Gęstość ziemi jest większa od gęstości wody. „Przy jakimkolwiek [bowiem] kształtowaniu się planet z wody każda cięższa materja dążyła w owym czasie, gdy masa była ciekła, do środka. Otóż gdy najwyższa warstwa ziemi jest jakby dwa razy cięższa od wody i nieco niżej, w kopalniach trzy lub cztery albo nawet pięć razy cięższa, jest rzeczą prawdopodobną, że masa (copia) całej materji ziemi jest jakby pięć lub sześć razy większa, niż gdyby cała ziemia składała się z wody<sup>1)</sup>. Wobec tego gęstość Jowisza, według Newtona cztery razy mniejsza od gęstości ziemi, niewieleby się różniła od gęstości wody<sup>2)</sup>. Gdy do takiej kuli wodnej zastosujemy twierdzenia księgi II, dotyczące oporu, jakiego doznają ciała, poruszając się w środowisku płynnym, i uwzględnimy rozrzedzenie powietrza, stale wzrastające w miarę oddalania się od ziemi, przekonamy się, że Jowisz w ciągu miliona lat może utracić zaledwie jedną milionową swego ruchu. A powietrze jest jedynem, jak się zdaje, ciałem, które może spowodować tę stratę. Na to wskazywałby fakt, że „nigdzie w przestrzeniach najbliższych ziemi nie można znaleźć niczego, stwarzającego opór, poza powietrzem, wyziewami i parami“. Wskazuje na to zresztą następujące doświadczenie. „Gdy usuniemy starannie [powietrze, wyziewy i pary] z wydrążonego szkła walcowatego, ciała ciężkie wewnątrz szkła spadają najswobodniej i bez żadnego dostrzegalnego oporu;

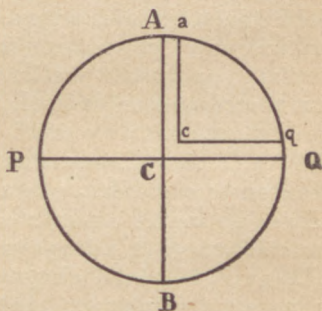
<sup>1)</sup> Jest to zadziwiająco dokładne wyznaczenie gęstości ziemi, którą przyjmujemy obecnie za równą 5,52.

<sup>2)</sup> Ściśle biorąc, wynosiłaby 1,38, w rzeczywistości wynosi 1,36.



złoto i najcieńsze pióra, jednocześnie spuszczone, spadają z jednakową prędkością, i przebiegając stosownie do przypadku wysokość czterech, sześciu lub ośmiu stóp, jednocześnie upadają na dno, jak to wykazane jest doświadczalnie. I wobec tego, gdy się wzniesiemy do niebios, wolnych od powietrza i wyziewów, planety i komety będą się jak najdłużej poruszały przez te przestrzenie, nie doznając żadnego dostrzegalnego oporu“.

Zasady mechaniki pozwalają również zdać sobie sprawę z kształtu planet. Jak wiadomo, poza ruchem dookoła słońca posiadają one jeszcze ruch dzienny — obrotowy dookoła osi, przechodzącej przez bieguny. „Wskutek tego ruchu kołowego części, odstępujące od osi, dążą do wzniesienia się w pobliże równika. I przeto, gdy materja jest ciekła, wstępowaniem swem ku równikowi będzie powiększała średnicę, zstępowaniem zaś swym będzie zmniejszała oś przy biegunach“. Planety więc, a w ich liczbie oczywiście i ziemia, mają kształt bryły, utworzonej przez obrót elipsy dookoła osi mniejszej, stanowiącej oś obrotu planety. Wobec tego nie wszystkie punkty powierzchni ziemi będą jednakowo odległe od jej środka, siła przeto przyciągania już z tego choćby powodu nie będzie



Ryc. 40.

we wszystkich punktach powierzchni jednakowa. Do tego dochodzi jeszcze wpływ ruchu obrotowego, powodującego powstanie siły odśrodkowej (centrifuga). Newton oblicza, że siła ta na równiku stanowi  $\frac{1}{289}$  całkowitej siły ciężkości, i zestawiając obiedwie przyczyny zmienności ciężaru, wyznacza spłaszczenie ziemi.

Założmy, że wycięliśmy w kuli ziemskiej kanał, zaginający się w środku ziemi pod prostym kątem; niech kanał ten wyobrażają nam na rysunku proste AC, ac i CQ, cq, przyczem AB jest średnicą równika, PQ — osią ziemską. Wypełnijmy kanał ten wodą. Jest rzeczą jasną, że woda w nim musi być w równowadze, a więc ciężary słupów AaCc i CQqc powinny być równe. Ale w tych samych warunkach pozostałych ciężar AaCc jest mniejszy od ciężaru słupa tej samej długości, wypełniającego kanał, idący od bieguna. W przypadku więc równowagi kanał CQqc musi być krótszy od kanału AaCc. Newton, opierając się na twierdzeniach księgi I, ustala, że stosunek długości tych kanałów musi być równy stosunkowi 229 do 230<sup>1)</sup>. Potwierdzenie tego wniosku widzi Newton w stwierdzonej przez Halleya, Varina, des Hayes'a i innych zmianie okresu wahania wahadła, przeniesionego z jednego miejsca ziemi na drugie. „Zmiany całkowitej długości wahadeł, które są izochroniczne w różnych krajach, nie można przypisać różnemu ciepłu“. Wydłużenie bowiem, spowodowane przez ogrzanie, jest, jak to wynika

<sup>1)</sup> Jest to liczba zbyt wielka; obecnie przyjmujemy stosunek 298,1 do 299,1.

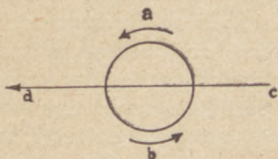
z pomiarów Picarda i de la Hire'a, mniejsze, aniżeli to, któreby odpowiadało obserwowanemu zwiększaniu się okresu wahania. „I jakkolwiek... obserwacje nie zgadzają się w sposób doskonały, to jednak błędy są tak małe, że można je pominąć. I w tem wszyscy się zgadzają, że wahadła izochroniczne są krótsze pod równikiem niż w Królewskim Obserwatorjum w Paryżu“. Gdyby można było polegać na pomiarach Richera, wykonanych w Kajennie, należałoby przyjąć, że „ziemia jest na równiku wyższa niż na biegunach nadwyżką około 70 mil, a więc tak, jak wyżej wskazuje teoria“.

Są to jedyne przyczyny, powodujące zmianę przyspieszenia ziemskiego, działania bowiem przyciągające księżyca i słońca nie wywołują zmian dostrzegalnych; są one „o wiele mniejsze, niż te, które można wyznaczyć w doświadczeniach z wahadłami lub w doświadczeniach statycznych i hydrostatycznych“. Ujawniają się one zato w zjawisku przyływu i odpływu morza.

Już przed Newtonem wiadano, że między ruchem oceanów i ruchami księżyca i słońca istnieje pewien związek; pojawianie się bowiem periodyczne wysokiego poziomu morza po upływie krótkiego stosunkowo czasu od chwili przejścia księżyca przez południk danego miejsca, oraz różniająca się wysokość przyływu wtedy, gdy środki ziemi, słońca i księżyca znajdują się na jednej prostej, musiały zwrócić uwagę każdego, kto bliżej badał to zjawisko.

Pierwsze, zdaje się, tego rodzaju spostrzeżenie było wykonane w słynnym ongi uniwersytecie w Coimbra, w tym też duchu prowadzili następnie

badania Antõnio de Dominis i Kepler, który wyraźniej przypisywał wznoszenie się poziomu wody przyciąganiu jej przez księżyc. Objaśnienie Keplera było wyśmiane przez Galileusza, uważającego je za bezpodstawne. Galileusz zakładał, że odpływy i przyływy mają swe źródło w postępowym i obrotowym ruchu ziemi. W punkcie *a* kierunki



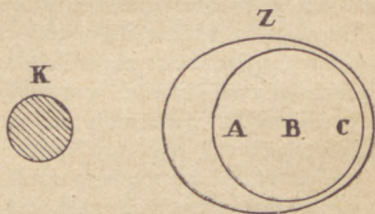
Ryc. 41.

obydwu tych ruchów są zgodne, i woda, nie mogąc nabyć od razu tej samej prędkości, co ziemia, opóźnia się w stosunku do niej, w punkcie zaś *b*, gdzie kierunki są przeciwnie, wyprzedza ją. Ta teoria, która nie uwzględ-

niała zasadniczych cech zjawiska i przeczyła zarówno zasadzie względności ruchu postępowego, jak i twierdzeniom, dotyczącym wpływu ruchu obrotowego na kształt ziemi, była dla Newtona niemożliwa do przyjęcia, tem bardziej, że twierdzenia księgi pierwszej pozwalały wyjaśnić przyływ i odpływ morza znacznie prościej.

Wystarczało dla wyjaśnienia powołać się na zależność siły grawitacji od odległości. Niech *K* będzie księżycem lub słońcem, punktowi *A* siła przyciągająca nadaje większe przyspieszenie w kierunku danej gwiazdy, niż dalej położonemu środkowi ziemi, wobec czego powierzchnia wody w *A* oddala się od niego; podobnie słabiej przyciągana woda w *C* też oddala się od środka ziemi, tworząc wzniesienie na odwróconej od gwiazdy części powierzchni ziemi. Działanie jednoczesne obydwu gwiazd po-

woduje jedynie zmianę natężenia zjawiska. „Obydwa ruchy, które wzbudzają dwa ciała świecące (luminaria), nie różnią się wyraźnie, lecz powodują jakiś ruch mieszany. Przy złączeniu (coniunctio) lub przeciwstawieniu (oppositio) ciał świecących łączą się ich działania i powstaje największy przypływ i odpływ. W kwadraturach słońce podnosi wodę tam, gdzie księżyc ją obniża, i obniża tam, gdzie księżyc podnosi, i wskutek różnicy działań powstaje najmniejszy ze wszystkich przypływ”. Na tych ogólnych założeniach można zbudować teorię bardziej szczegółową, a przedewszystkiem wykazać, że stwierdzony doświadczalnie większy wpływ księżycy jest bezpośrednim z nich wnioskiem. Zjawisko bowiem zależy nie od bezwzględnej wielkości przyciągań, lecz od różnicy sił przyciągających w punktach A, B, C. Odległości między temi punktami stanowią znacznie mniejszy ułamek odległości słońca od środka ziemi, niż odległości między księżycem i ziemią, stąd zmniejszenie lub zwiększenie siły przyciągającej przy przejściu od jednego z tych punktów do drugiego jest stosunkowo znacznie większe w przypadku działania księżycy niż w przypadku działania słońca. Wyznaczeniu wielkości przypływu i odpływu poświęca Newton dwa obszerne ustępy, stanowiące



Ryc. 42.

siedemnaste i osiemnaste zagadnienie (problema] księgi trzeciej, i ustala między innymi, że „siła księżyca, poruszająca morza, jest do podobnej siły słońca w stosunku takim, jak 4,4815 do 1”.

Już ten przykład dowodnie wskazuje, że zjawiska, spowodowane działaniem siły grawitacji, rzadko kiedy dadzą się ująć w tak proste wzory jak te, które wynikają z twierdzeń księgi pierwszej. Zazwyczaj bowiem mamy do czynienia nie z jednym ciałem przyciągającym, lecz z wieloma; w najprostszym zaś przypadku, jak rozpatrzone wyżej zjawisko przyływu i odpływu, z dwoma. Wzory więc, wyprowadzone uprzednio dla układu z dwu ciał, muszą być uogólnione na układy z trzech i więcej ciał. Newton ogólnego rozwiązania nie daje, nie dała go zresztą i późniejsza mechanika, lecz próbuje znaleźć rozwiązanie częściowe, rozpatrując kolejno wpływ na kształt toru planety każdego z działających ciał. Najwięcej stosunkowo miejsca poświęca ruchowi księżyca, w którym zakłócenia, uwarunkowane nieprawidłową postacią księżyca i jednoczesnym działaniem sił przyciągających słońca i ziemi, powodują największe i najłatwiejsze do spostrzeżenia odchylenia od drogi eliptycznej.

Całkowitej teorii tego ruchu w „Zasadach” nie znajdujemy: pewnych zakłóceń Newton wcale nie uwzględnia; ale i w tym przypadku daje on niezawodną metodę badania, która później w rękę Eulera, d'Alemberta (1717—1783), Clairauta (1713—1765), Laplace'a i Lagrange'a doprowadzi do znakomych wyników. Wyjaśnione jest zato całko-

wicie przesuwanie się punktów równonocnych<sup>1)</sup>, które dla Keplera stanowiło tajemnicę nie do przeniknięcia. Wyjaśnienie to oparte na wywodach, dotyczących działania sił przyciągających na ciało niedoskonale kuliste, spłaszczone tak jak ziemia na biegunach<sup>2)</sup>, stanowi nowe potwierdzenie słuszności „pewników albo praw ruchu“.

Można przeto stwierdzić, że założenia mechaniki newtonowskiej pozwalają dokładnie wyznaczyć ruchy ciał niebieskich; trudności, które czasem napotykamy, są natury wyłącznie matematycznej. Dotyczy to nietylko ruchów tych ciał, które zazwyczaj nazywamy planetami, ale i tych, które jakgdyby luźniej związane są z układem słonecznym, a mianowicie komet. Newton uzasadnia, że tory komet, podobnie jak innych planet, są elipsami, mającemi swe ognisko w słońcu; tory te „są tak bliskie [kształtem] do parabol, że zamiast nich można bez znaczniejszego błędu brać parabolę“, takie zaś przybliżenie umożliwia, na podstawie udowodnionych własności parabol, z trzech kolejnych wyznaczeń położenia komety na niebie znaleźć jej drogę paraboliczną. Do sprawdzenia słuszności tych twierdzeń może służyć tor komety z 1680 i 1681 r., obserwowanej przez wielu astronomów, a zwłaszcza przez Flamsteeda (1646—1719) i Halleya. Wyniki tych obserwacji „zgodne są z teorią o tyle, o ile zgodne są między sobą“,

<sup>1)</sup> Innemi słowy, zmiana położenia na niebie punktów przecięcia się ekliptyki z płaszczyzną równika, wywołana przez niestałość położenia w przestrzeni osi ziemskiej, prostopadłej do płaszczyzny równika.

<sup>2)</sup> P. str. 84.

i potwierdzają przypuszczenie, że gwiazda, widziana w listopadzie 1680 r., jest tą samą gwiazdą, która w roku następnym jaśniała do pierwszych dni marca, poza tem zaś stwierdzają niezbicie, że „tor tej komety dwukrotnie przecinał ekliptykę, a więc nie był prostolinjowy“.

Podobieństwo jednak między kometami i planetami sięga jeszcze dalej. Ten, co obserwował kometa 1680 r. i rozmyślał nad nią, „stwierdzi bez trudu, że ciała komet są stałe (solida), zbite (compacta), niezmiennie (fixa) i trwałe (durabilia) na wzór ciał planetarnych. Gdyby bowiem nie były niczem innym, jak parami lub wyziewami ziemi, słońca i planet, kometa, przechodząc w pobliżu słońca, musiałaby się nieprzerwanie rozpraszać“, a to dlatego że w punkcie przysłonecznym znajdowała się ona znacznie bliżej słońca niż ziemi, i co za tem idzie, otrzymywała od słońca więcej ciepła w stosunku odwrotnym do stosunku kwadratów odpowiednich odległości, co w danym przypadku wyraża się stosunkiem liczb 28 000 do 1. Otóż „ciepło<sup>1)</sup> wody wrzącej jest prawie trzy razy większe niż ciepło, które pobiera sucha ziemia od letniego słońca, jak sam to stwierdziłem doświadczalnie; ciepło zaś rozżarzonego do białości żelaza jest (jeżeli się słusznie dorozumiewam) prawie trzy lub cztery razy większe niż ciepło wody wrzącej; stąd ciepło, któreby mogła pobrać z promieni słonecznych sucha ziemia, znajdująca się w punkcie przysłonecznym [drogi] komety, byłoby prawie

---

<sup>1)</sup> Pojęć „ciepło“ i „temperatura“ Newton nie różnił.



2000 razy większe, niż ciepło rozżarzonego do białości żelaza. W takim zaś cieple pary i wyziewy, oraz wszelka materja lotna musiałyby nieprzerwanie zużywać się i rozpraszać”.

Kształt warkocza komety, zwróconego zawsze w stronę przeciwną słońcu, Newton wbrew Keplero-  
rowi, który przypisywał go działaniu promieni słonecznych, porywających ze sobą materję warkocza, objaśnia podobnie jak uchodzenie dymu z komina: „Dym w kominie wznosi się na skutek popędu powietrza, w którym [dym] pływa. Powietrze to, rozrzedzone przez ciepło, wznosi się na skutek zmniejszenia swego ciężaru właściwego i porywa ze sobą dym. Czy nie w ten sam sposób warkocz komety wznosi się od słońca? Promienie bowiem słoneczne nie poruszają środowisk, przez które przechodzą, chyba przy odbiciu i załamaniu. Cząstki odbijające, ogrzane tem działaniem, ogrzeją aurę (aura) eteryczną, w którą są w mieszane. Ona zaś rozrzedzi się na skutek udzielonego sobie ciepła i dzięki zmniejszonemu przez tę rzadkość swemu ciężarowi właściwemu, który poprzednio ciągnął ją ku słońcu, wzniesie się i porwie ze sobą odbijające cząstki, z których składa się warkocz”. Warkocz ten stopniowo się zmniejsza, rozpraszając się w niebiosach, częściowo zaś mieszając się z atmosferą planet, które przyciągają zawarte w nim cząstki. „W ten sam bowiem sposób, w jaki morza konieczne są potrzebne do budowy tej ziemi, aby były z nich przez ciepło słońca dostatecznie obficie wzbudzone pary, które albo skupione w chmury spadają w deszczach i ziemię całą dla płodzenia roślin nawadniają i żywią, lub na chłod-

nych wierzchołkach gór zgęszczone (jak niektórzy słusznie roztrząsają [philosophantur]) spływają w potokach i rzekach; tak dla zachowania mórz i wilgotności (humorum) na planetach konieczne są, jak się zdaje, komety, których wyziewy i pary mogą po zgęszczeniu stale dopełniać i zasilać to, co z cieczy zużyło się przez wegetację i gnicie i zamieniło się w suchą ziemię. Wszystkie bowiem rośliny (vegetabilia) rosną zawsze z cieczy, następnie po większej części przechodzą na skutek gnicia w suchą ziemię, i ciągle powstaje muł z gniących cieczy. W ten sposób masa suchej ziemi zwiększa się co dnia, i ciecz, gdyby skądinąd nie doznawały zwiększenia, powinny stale się zmniejszać i wkońcu powinno ich brakować. A zatem sądzę, że ów dech (spiritus), który stanowi najmniejszą, lecz najsubtelniejszą (subtilissima) i najdoskonalszą część naszego powietrza, i który jest potrzebny do życia wszystkich rzeczy, głównie przychodzi z komet“.

Nie wszystko więc można objaśnić przy pomocy zasad mechaniki. Gdy chodzi o zjawiska, różne od zjawisk ruchu, uciekać się trzeba, jak tego dowodzą przytoczone ustępy, do innych założeń, naogół o wiele mniej ścisłych. Są one albo źle uzgodnione z wywodami poprzednimi, jak np. założenie istnienia „aury eterycznej“, odrzucone w twierdzeniach księgi drugiej, albo oparte na zgoła fantastycznych przesłankach, jak np. założenie o „dechu życiowym“, dostarczonym przez komety, a w którym trudno byłoby dopatrywać się analogji do myśli, rozwiniętej w paręset lat potem przez Arrheniusa o krążeniu zarodków we wszech-

świecie. Newton zdaje sobie z tego sprawę, co więcej, wie on dobrze, że nawet to, co dotyczy ruchu ciał niebieskich, nie we wszystkich szczegółach może być z jego pewników wyprowadzone.

Daje temu wyraz w „Scholium generale“, dodaniem dopiero w późniejszych wydaniach i zamykającym „Zasady“. Na wstępie raz jeszcze wyłącza powody, które zmuszają do odrzucenia kartezjuszowskiej teorii wirów. Teoria ta bowiem „wiele nastęrcza trudności. Aby jakakolwiek planeta promieniem swym, przeprowadzonym do słońca, opisywała pola, proporcjonalne do czasu, czasy okresowe części wiru musiałyby być w podwójnym stosunku do odległości od słońca. Aby czasy okresowe planet były w stosunku półtoracznym do odległości od słońca, czasy obiegu części wiru musiałyby być w półtoracznym stosunku do odległości. Aby wiry mniejsze, krążące dookoła Saturna, Jowisza i innych planet, powstały i spokojnie pływały w wirze słońca, czasy okresowe części wiru słonecznego musiałyby być równe. Obroty słońca i planet dookoła swych osi, które powinnyby być zgodne z ruchami wirów, odbiegają od tych wszystkich stosunków. Ruchy komet są w najwyższym stopniu prawidłowe i podlegają tym samym prawom, co ruchy planet, i nie mogą być wyjaśnione przez wiry“. Przeczą tej teorii również badania oporu, jaki napotykają poruszające się ciała. „Pociski w naszym powietrzu doznają jedynie oporu powietrza. Po usunięciu powietrza, jak w próżni Boyle'a, opór ustaje, tak iż cienkie piórko i stałe złoto spadają w tej próżni z jednakową prędkością. I to samo zachodzi w przestrzeniach niebieskich,

które są ponad atmosferą ziemi. Wszystkie ciała muszą w tej przestrzeni poruszać się najswobodniej; i oto dlatego planety i komety stale obracają się po orbitach o oznaczonych stosownie do wyżej przytoczonych praw rodzaju i położeniu. Będą one również trwałe na swych orbitach na skutek praw grawitacji... Ale tu już się kończy zasięg praw, wyłożonych w „Zasadach”. Nie mogą one wyjaśnić, ani dla czego „sześć planet głównych obraca się dookoła słońca po kołach do słońca współśrodkowych, w tym samym kierunku ruchu i w tej samej mniej więcej płaszczyźnie”, ani „jakiego rodzaju ruchem komety jak najszybciej i jak najłatwiej przechodzą przez orbity planet”, ani wreszcie, w jaki sposób powstało to „prawidłowe położenie orbit”. Jeżeli chodzi o „najwytworniejszy (elegantissima) układ słońca, planet i komet”, to odpowiedź jest jedna. Nie mógł on powstać inaczej, jak tylko wskutek „planu i władzy istoty rozumnej i potężnej”. Ona to oddzieliła układy gwiazd olbrzymiami odległościami, aby „na skutek swej ciężkości nie spadały na siebie wzajemnie”. Sposób Jej działania jest nam nieznan. „Jak ślepy nie ma pojęcia barwy, tak my nie mamy pojęcia sposobów, któremi najmądrzejszy Bóg odczuwa i rozumie wszystko... Widzimy kształt ciał i barwę, słyszymy dźwięki, dotykamy powierzchni zewnętrznych, wąchamy zapachy i odczuwamy smaki, ale wewnętrznych substancji nie poznajemy żadnym zmysłem, żadnym świadomym działaniem; tem mniej mamy pojęcie o istocie (substantia) Boga. Poznajemy Go jedynie przez jego własności i przymioty, i przez najmądrzejsze i najdoskonalsze budowy

rzeczy i przez przyczyny ostateczne, i podziwiamy za doskonałość... I [dlatego te rozważania] o Bogu... dotyczą filozofii przyrody".

Dotyczą jednak o tyle tylko, o ile w nich widzimy potwierdzenie Boga jako ostatecznej przyczyny rzeczy. To bowiem wszystko, co Newton w porywie gorącej wiary podaje, nie uwalnia od szukania praw, rządzących zjawiskami wszechświata. Inaczej nauka, badanie straciłyby zupełnie rację swego istnienia. To też Newton w poczuciu tej niezbitej prawdy przechodzi do usprawiedliwienia się z niedoskonałości swej pracy. „Wyjaśniłem siłą grawitacji zjawiska niebios i naszego morza, lecz nigdzie nie podałem przyczyny grawitacji. Siła ta powstaje z jakiejś przyczyny, przenikającej bez zmniejszenia mocy aż do środków słońca i planet... Powodu jednak tych własności ciężenia nie mogłem wyprowadzić ze zjawisk, hipotez zaś nie stawiam. Czegokolwiek bowiem nie można wyprowadzić ze zjawisk, to należy nazywać hipotezą, a hipotezy czyto metafizyczne, czyto fizyczne, czyto ukrytych jakości nie mają miejsca w filozofii przyrody. W tej filozofii twierdzenia wyprowadza się ze zjawisk i uogólnia przez indukcję. Tak poznane zostały nieprzenikliwość, ruchliwość (mobilitas), pęd ciał oraz prawa ruchu i grawitacji. Wystarczy, że ciężkość rzeczywiście istnieje i działa według praw, przez nas wyłożonych, i to jest dostateczne dla [wyjaśnienia] wszystkich ruchów ciał niebieskich i naszego morza.

Należałoby dorzucić jeszcze cośniemoż o dechu najsubtelniejszym (spiritus subtilissimus), przenikającym grube (crassa) ciała i w nich ukrytym, któ-

rego siłą i działaniem cząstki ciał przyciągają się wzajemnie z bardzo małych odległości, po zetknięciu zaś spajają się i [dzięki któremu] ciała elektryczne działają na większe odległości, zarówno przyciągając, jak i odpychając ciała sąsiednie; i światło jest wysyłane, odbijane, załamane, uginane i ogrzewa ciała; i wzbudzone jest każde wrażenie, i członki zwierząt dowolnie są poruszane... Ale tego nie można wyłożyć w paru słowach; niema poza tem dostatecznej ilości doświadczeń, któreby mogły wykazać i dokładnie wyznaczyć prawa działań tego dechu".

Newton do omówienia tych zjawisk, o których na tem miejscu jedynie wzmiankuje, wróci raz jeszcze w „Optyce”.

---

## PRZYPISY

### DO ROZDZIAŁU PIĄTEGO

- Listy do Oldenburga przy przesyłaniu rozprawy o barwach cienkich warstewek i do Collinsa z 25 maja 1672 r.* — Rosenberger, l. c., str. 102 i 95
- podanie o wykreślenie z listy członków T-wa Królewskiego* — Rosenberger, l. c., str. 94, Rigaud, l. c., str. 7
- dochody Newtona* — Morgan, l. c., str. 43
- list do Oldenburga z czerwca 1673 r.* — Rosenberger, l. c., str. 95
- rola Oldenburga w polemikach newtonowskich* — Zeitlinger, Mem. Vol. str. 151
- polemika z Lucasem* — Rosenberger, l. c., str. 89 — 92 i 96
- polemika z Hookem* — Rosenberger, l. c., str. 111 — 116
- tytuł listu otwartego do Montague* — Zeitlinger, Mem. Vol. str. 151
- szczegóły o życiu Newtona w Cambridge według Rosenbergera, Morgana, Arago, Biota (Articles de M. Biot extraits du Journal des Savants — octobre et novembre 1855) i Brewstera, tom II.*
- wyjątek z listu Collinsa* — Morgan, l. c., str. 110
- Vigani* — Gray, l. c., str. 202
- o zamianie żelaza w miedź* — w liście do Astona — Brewster, l. c., tom I, str. 383—9
- list do Astona* — Brewster, l. c., tom I, str. 385 — 389
- wymiana listów z Leibnizem* — Rosenberger, l. c., str. 440 — 446, Morgan, l. c., str. 93
- anagramy Galileusza* — Galileusz dwukrotnie posługiwał się anagramami: po raz pierwszy w książce „Side-

reus nuncius" (1610 r.), dla określenia szczególnego kształtu Saturna (anagram ten po rozwiązaniu dawał zdanie „altissimum planetam tergeminum observari) i powtórnie w tymże roku w grudniu; ten drugi anagram dotyczył fazy Wenera — Arago, l. c., str. 269 — 270. Anagram Newtona podany według Morgana i Rosenbergera; z obliczenia liter wynika jednak 5 v.

*listy Hooke'a do Newtona* — przy wyjaśnianiu tej ciemnej naogół sprawy można oprzeć się tylko na dwu źródłach: protokołach Tow. Królewskiego, podanych przez Rosenbergera, l. c., str. 155 — 156, i listach Newtona do Halleya z 1686 r., przytoczonych w całości w przypisach książki Rigaud, l. c., str. 26 — 45

*wyjątki z pracy Hooke'a „An attempt“ i t. d.* według Rigaud, l. c., str. 37 — 38 i przypisy str. 52 — 55

*list do Boyle'a* według Rosenbergera, l. c., str. 124 — 127

*korespondencja z Halleyem* według Rigaud, l. c., gdzie jest wydrukowana w przypisach, str. 25 — 52

*rozprawa „Propositiones de motu“* jest wydrukowana w przypisach u Rigaud, l. c., str. 1 — 19

*opis zatargu z Hookem* na podstawie przytoczonej wyżej korespondencji z Halleyem

*o trudnościach finansowych Tow. Królewskiego* — Rigaud, l. c., str. 33 — 34

*o pierwotnej redakcji księgi trzeciej* — Rigaud, l. c., str. 78

*streszczenie księgi trzeciej* według protokołu Tow. Królewskiego — Rigaud, l. c., str. 77.

## DO ROZDZIAŁU SZÓSTEGO

Cytaty z „Zasad“ brane są z tak zw. „jezuickiego wydania“, ogłoszonego po raz pierwszy w Genewie w 1739 — 1742 z obszernymi komentarzami zakonników Tomasza Le Seur i Franciszka Jacquier. Poza „Zasadami“ wydanie to zawiera „Rozprawę o przyptywie i odpływie morza“ Daniela Bernoulliego, „O przyczynie fizycznej przyptywu i odpływu morza“ Mac-Laurina i „Fizyczne badanie przyczyn przyptywu i odpływu morza“ Eulera. Było ono niejednokrotnie przedrukowywane; między innymi



istnieje przedruk glasgowski z 1822 r. drukarni Andrzeja i Jana Duncana. Tym przedrukiem, niewymienionym w bibliografii dzieł Newtona przez H. Zeitlingera (M. V. str. 156), posługiwaliśmy się przy pisaniu.<sup>1)</sup>

*Określenia i pewniki lub prawa ruchu* były niejednokrotnie omawiane w literaturze fizycznej. Na tem miejscu wymieniamy te tylko prace, któremi głównie posługiwaliśmy się przy opracowywaniu niniejszego rozdziału. E. Dühring, *Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik*. Leipzig 1887. Fues's Verlag str. 126—212. E. Mach, *Mechanik* — przekład rosyjski G. A. Kotlara pod redakcją prof. N. A. Gezechusa — St. Petersburg 1909, str. 154—219. Léon Bloch, *La philosophie de Newton* — Félix Alcan, Paris 1908, str. 126—258. Emil Meyerson. *L'identité et réalité*. Alcan, 1908, rozdział o zasadzie bezwładności. Komentarze F. Enriquesa i U. Fortiego do włoskiego przekładu wybranych wyjątków z „Zasad” pod tytułem „I. Newton, Principii di filosofia naturale, teoria della gravitazione con note critiche sullo sviluppo dei concetti della meccanica” per cura di F. Enriques e U. Forti. 1925. Casa editrice Alberto Stoch, Roma. Arthur Erich Haas. *Die Grundgleichungen der Mechanik, dargestellt auf Grund der geschichtlichen Entwicklung* — Leipzig, Veit und Comp., 1914, str. 57—62. A. S. Eddington. *Absolute Rotation* (Mem. Vol. str. 1)

*bezwzględny ruch obrotowy* był pojęciem po raz pierwszy wprowadzonym do fizyki przez Newtona. Fizyce Descartes'a, opartej na względności wszystkich ruchów (ruch polega na przeniesieniu „z sąsiedztwa ciał stykających się w sąsiedztwo innych”, Princ. część II, XXVIII), był on całkowicie obcy. Dowodem tego wspomniany w rozdziale drugim ustęp: „Ponieważ jednak niema takiej próżni ani też ziemia nie porusza się własnym ruchem, lecz jest unoszona przez materję niebieską, otaczającą ją i przenikającą wszystkie jej pory, posiada przeto ziemia cechy (rationem) ciała spoczywającego” (Princ. część IV, XXII)

<sup>1)</sup> Wstęp do „Zasad” Newtona, zawierający określenia i pewniki, w przekładzie niemieckim Ph. Jourdaina wydany został w „Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften”, tom 191. Jest to jednak przekład zbyt swobodny i zbyt często zmieniający sens oryginału, aby można było nim się posługiwać.

zmusiło fizyków do ponownego rozpatrzenia newtonowskich poglądów na czas i przestrzeń — filozofowie zajęli się nimi wcześniej, szczególnie Kant, który w „*Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*“ uważał, że ruch zachodzący w przestrzeni, pozbawionej ciała, nie może być przedmiotem doświadczenia i nie jest dla nas niczem. Berkeley w dziele „*De motu*“ pisał: „Wyobraźmy sobie, że istnieją dwie kule, poza nimi zaś nie istnieje nic cielesnego. Wyobraźmy sobie następnie, że są w jakiś sposób przyłożone siły: cokolwiek będziemy rozumieli przez przyłożenie sił, nie będziemy mogli wyobrazić sobie ruchu kołowego obydwu kul koło wspólnego środka. Załóżmy następnie, że jest stworzone niebo gwiazd stałych; pojmiemy nagle ruch z popędu (appulsu) kul ku różnym częściom tego nieba“ (Meyerson, l. c.)

o poglądach atomistów w związku z zasadą bezwładności — p. Meyerson, l. c., — poglądy atomistyczne Epikura i ich streszczenie przez Lukrecjusza są omówione w dziele Adama Krokiewicza, *Nauka Epikura*, nakładem Polskiej Akademji Umiejętności, 1929, str. 167 — 306

cytaty z *Kopernika i Keplera* — według Meyersona, l. c.

cytata z „*Dialogów o dwu największych układach świata*“ według Macha, l. c.

tytuł pracy *Benedetti*go — Giovanni B(attista) Benedetti *Patritii Veneti Philosophii Diversarum speculationum Mathematicarum et Physicarum liber*. Taurini (Turyn) 1585.

cytaty z „*Rozmów i dowodzeń*“ z niemieckiego przekładu A. v. Oettingena w „*Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften*“ Nr. 24, str. 57 i 80 — 81; przekładu polskiego str. 158, 176

ustalonych przez Krzysztofa Wrena, Jana Wallisa i Chrystjana Huygensa — właściwie porządek powinien być inny: Wren bowiem nie mógł udowodnić swoich twierdzeń, Wallis opracował jedynie uderzenia niesprężyste, całkowitą teorię dał tylko Huygens

na znaczenie końcowego ustępu „*Scholium*“ zwrócili pierwsi uwagę W. Thomson (lord Kelvin) i P. Tait: p. „*Elements of natural Philosophy*“ by Lord Kelvin and Peter Guthrie Tait. Cambridge University Press, 1912, str. 74.

## DO ROZDZIAŁU SIÓDMEGO.

*Porządek, w jakim są umieszczone niektóre twierdzenia* — na to pierwszy zwrócił uwagę Biot w *Journal des Savants*, 1852 r.

*sam... pisał w ogłoszonej (1712 r.) anonimowej polemice z Leibnizem* — pismo to stanowiące część t. zw. *Commercium Epistolicum*, wydanego przez T-wo Królewskie, było oddzielnie p. t. *Recensio* ogłoszone w *Philos. Trans.* z 1715 r. Autorstwo Newtona ustalił Morgan (*Phil. Magazine* 1848) p. Biot — *Articles de M. J. B. Biot extraits du Journal des Savants* (październik i listopad 1855, str. 13 i 14)

*nie przywiązywał wielkiej wagi do odkrytego przez siebie rachunku* — por. Morgan, l. c., str. 151 przypis cytata o *powstawaniu wielkości* — z rozprawy Newtona „o kwadraturze krzywych” (1704 r.), przekład niemiecki w „*Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften*” Nr. 164, str. 1; tę samą cytata podają w przypisie komentatorzy przytoczonego wyżej wydania „*Zasad*”

*jakiegokolwiek inne wielkości skończone, proporcjonalne do tych prędkości* — Niech  $y$  będzie funkcją kształtu:

$y = x^m$ . Momentem tej funkcji lub różniczką, jak dzisiaj

mówimy, będzie  $dy = mx^{m-1}dx$ . Wyrażenie nie zmieni

się, gdy je przedstawimy w postaci  $\frac{dy}{dt} = mx^{m-1} \frac{dx}{dt}$ ,

gdzie  $\frac{dy}{dt}$  będzie oznaczało prędkość wzrastania  $y$ ,  $\frac{dx}{dt} = x$ .

Można też zamiast wyrażenia poprzedniego rozpatrywać

i takie:  $\frac{dy}{dx} = mx^{m-1}$ . Newton w późniejszych pismach

matematycznych i jedno i drugie wyrażenie oznacza tym samym symbolem fluksji  $\dot{y}$ , moment zaś przez  $\dot{y}$ , nie podając jednak, względem jakiej zmiennej niezależnej przeprowadzone jest różniczkowanie. O nieoznaczoności symboliki Newtona patrz Rosenberger, l. c., str. 435

*obszerne streszczenie i głęboką analizę trzech ksiąg „Zasad”* daje Rosenberger, l. c., str. 177 — 223

*twierdzenie XVII pierwszej księgi uważa Dühring za jądro (Kernpunkt) nowej teorii przyciągania* (l. c. str. 189)

które staną się dla fizyki założeniami podstawowemi w badaniach nie tylko zjawisk mechanicznych, lecz również elektrycznych i magnetycznych — chodzi tu o założenie, przyjęte przez Newtona bez zastrzeżeń, że działanie ciała jest wypadkową działań wszystkich jego części; podobnie w elektryczności zakładamy, że działanie ciała naelektryzowanego jest wypadkową działań nabojów elementarnych; w przypadku takim jak grawitacja, gdzie masy czynne wypełniają całą objętość ciała (nie tak jak w elektryczności, gdzie nabój jest rozmieszczony na powierzchni, lub w magnetyzmie, gdzie następuje częściowe zubożenie się mas wewnętrznych), jest to jednoznaczne z założeniem, że nie zachodzi żadne pochłanianie działania grawitacyjnego przez ciało; innymi słowy, że w ciałach bardzo wielkich obowiązuje ustalona przez bezpośrednie doświadczenia tylko dla ciał małych proporcjonalność masy grawitacyjnej do masy bezwładnej. (Porów. *M a j o r a n a*, *Quelques recherches sur l'absorption de la gravitation par la matière*, *Journal de Physique*, 1930, str. 314 — 324). Należy dodać, że już w określeniu masy, jako iloczynu objętości przez gęstość zawiera się implicite twierdzenie o masie ciała, jako sumie mas jego części

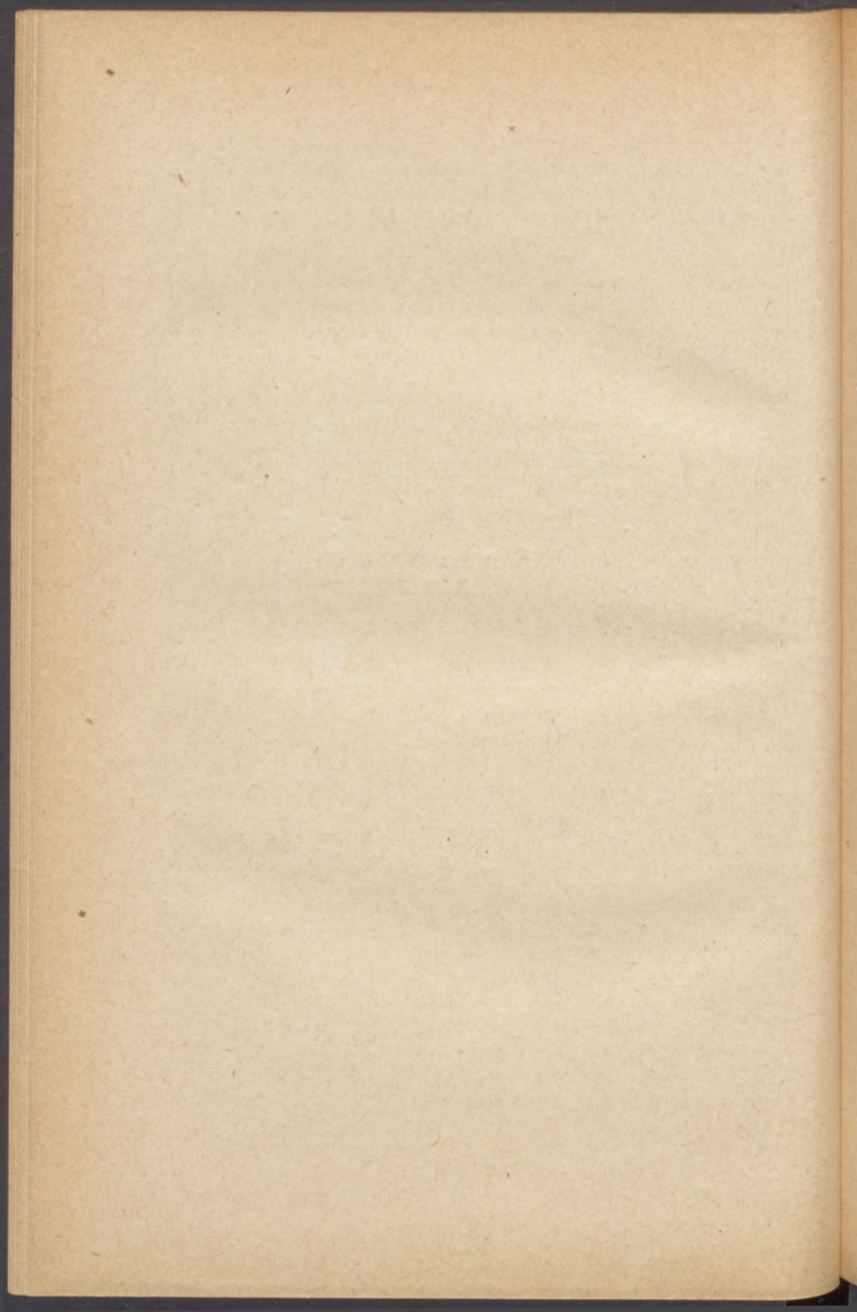
wpływ ruchu obrotowego ziemi na ciężar ciał wykazał już poprzednio Huygens, wyjaśniając wyniki pomiarów okresu wahań wahadła otrzymane przez Richera (1671 — 1673) w Paryżu i w Cayenne, *M a c h*, l. c., str. 133

galileuszowską teorię przyływu i odpływu podajemy w tekście według *M a c h a*, l. c., str. 179 — 181.

## SPIS ROZDZIAŁÓW

	Str.
V. W Cambridge . . . . .	1
VI. Określenia i pewniki . . . . .	30
VII. Trzy księgi „Zasad“ . . . . .	71
Przypisy . . . . .	147

---



# Z CYKLU „DLA WSZYSTKICH“

## SERJA C. BIBLIOTEKAZKA PRZYRODNICZA

polecamy:

Stopień I dla dzieci i młodzieży, stopień II dla młodzieży i dorosłych.

- |  |      |
|--|------|
| 201. FARADAY, M. Dzieje świecy. Z ilustr. (Stopień II). Wydanie drugie . . . . .                       | 2,20 |
| 202. GAYÓWNA, D. Sosna. Z ilustr. (Stopień II)   | 1,20 |
| 203. BREHM. Z życia naszych szkodników i sprzymierzeńców. Z ilustracjami (Stop. I) . . . . .           | 1,70 |
| 204. — Z życia ptaków. Z ilustracjami (Stop. I)  | 1,20 |
| 205. BOHUSZEWICZÓWNA, Z. Darmozjady w świecie roślin. Z ilustr. (Stop II) . . . . .                    | —,90 |
| 206. — Rośliny owadożerne. Z ilustracjami. (Stop. II)  | 1,—  |
| 207. GROTOWSKA, H. Wzajemna zależność świata zwierzęcego i roślinnego. Z ilustr. (Stop. II)            | 1,10 |
| 208. DYAKOWSKI, B. Z przyrody Bałtyku. Z ilustracjami. (Stopień II) . . . . .                          | 1,60 |
| 209. GORBUNOW-POSADOW, J. Z życia naszych zwierząt domowych. Z ilustr. (Stopień I) . . . . .           | 2,—  |
| 210. KUJAWSKA, A. Owady-ogrodnicy. Z ilustr. (Stopień II) . . . . .                                    | 1,40 |
| 211. GROTOWSKI, M. Michał Faraday. Życiorys. Z ilustr. (Stopień II) . . . . .                          | 2,60 |
| 212. HARABASZEWSKI, J. Woda. Z ilustr. (Stopień II) . . . . .  | 1,50 |
| 213. FLESZAROWA-DANYSZ, R. Wśród nocy i lodów. W/g Fridtjofa Nansena. Z ilustr. (Stopień II) . . . . . | 1,80 |
| 214. DYAKOWSKI, B. O wulkanach. Z ilustracjami. (Stopień II) . . . . .                                 | 1,50 |
| 215. SADZEWICZOWA, M. Łądem, wodą i powietrzem. Z ilustr. (Stopień II) . . . . .                       | 1,—  |

216. KALINOWSKI, S. i KALINOWSKA, Z. Magnetyzm ziemski. Z ilustr. (Stopień II) . . . . . 2,50
217. GROTOwsKA, H. Zwierzęta juczne i pociągowe w obcych krajach W/g Brehma. Cz. I. Z ilustr. (Stopień I) . . . . . 1,40
218. DYAKOWSKI, B. O trzęsieniach ziemi. Z ilustracjami. (Stopień II) . . . . . 1,50
219. DOBROWOLSKI, A. B. Amundsen. Z ilustracjami. (Stopień II) . . . . . 2,—
220. VIEWEGEROWA, J. Z życia ryb. Z ilustr. (Stopień II) . . . . . 2,80
221. GROTOwsKA, H. Zwierzęta juczne. Z ilustr. Cz. II. (Stopień I) . . . . . 1,60
222. SADZEWICZOWA, M. Słońce. Z ilustr. (Stop. I) 1,30
223. GAYÓWNA, D. Dobroczynca ludzkości Ludwik Pasteur. Z ilustr. (Stopień II) . . . . . 2,50
224. DOMANIEWSKI, J. Ptaki naszych lasów. Z ilustracjami. Cz. I. (Stopień I) . . . . . 2,60
225. — Ptaki naszych lasów. Z ilustr. Cz. II. (Stop. I) 2,60
226. KOZŁOWSKA, A. DR. Egipt darem Nilu. Z ilustracjami. (Stopień II) . . . . . 2,—
227. DOMANIEWSKI, J. Ptaki naszych gór. Z ilustracjami. (Stopień I) . . . . . 2,60
228. DYAKOWSKI, B. Nasze zboża. Z ilustr. (Stop. I) 2,80
229. GUMIŃSKI. Pogoda. Z ilustr. (Stop. II) . . . . . 2,80
230. GROTOwsKA, H. Mali mieszkańcy dużego domu. Z ilustr. (Stopień I) . . . . . 1,50
232. ANTONIEWICZÓWNA, J. Mały ogródek. Z ilustracjami. (Stopień I) . . . . . 2,30
233. DYAKOWSKI, B. Badacz dalekiej Północy. Z ilustr. (Stop. II) . . . . . 2,60
234. SZAFEROWA, J. Brzoza. Z ilustr. (Stop. II) 1,60
235. DOBROWOLSKI, A. B. Życie w krainach lodu. Z ilustr. (Stopień II) . . . . . 2,20