

Isaac Newton

**Matematični principi filozofije narave**  
Kratek izbor<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Uredniška opomba: Prevod Matej Hriberšek  
Izbor, strokovni pregled prevoda (s sodelovanjem Matjaža Ličerja in Vojislava Likarja), uredniške opombe in opombe Matjaž Vesel

Prevod in opombe so nastali v okviru raziskovalnega programa P6-0014 »Pogoji in problemi sodobne filozofije« in projekta J6-9392 »Problem objektivnosti in fikcije v sodobni filozofiji«, ki ju financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

## Uredniška opomba

Isaac Newton je svoje prelomno delo *Matematični principi filozofije narave* (*Principia mathematica philosophiae naturalis*) prvič objavil leta 1687, druga, popravljena in dopolnjena izdaja je izšla leta 1713, tretja pa, z manjšimi spremembami, leta 1726, tj. eno leto pred Newtonovo smrtjo. Zadnja izdaja, po kateri so prevedena besedila v pričujočem izboru, je urejena takole. Za naslovnico je slavilna oda, ki jo je v Newtonovo čast napisal Edmond Halley. Sledijo štirje predgovori. Avtor prvih dveh, iz prve in druge izdaje, je Newton, tretjega je za drugo izdajo – poleg Newtonovega – napisal njen urednik Roger Cotes, četrti, iz tretje izdaje, je zopet Newtonov. Sledi »Kazalo poglavij celotnega dela« (*Index capitum totius operis*) in spisek *corrigen*da. Delo samo uvaja osem definicij, ki jih zaokrožuje znamenita sholija o času, prostoru, mestu in gibanju ter trije aksiomi ali zakoni gibanja s šestimi korolarji in sholijo. Po teh preliminarnih besedilih se začinja prva knjiga, naslovljena »O gibanju teles« (*De motu corporum*), katere predmet je gibanje teles v prostorih, v katerih ni upora. Druga, enako naslovljena knjiga, se ukvarja z gibanjem teles, ki ga omejujejo različne vrste upora, vključuje pa tudi številne druge teme iz filozofije narave (npr. principe valovanja in teorijo tekočin). Tretjo knjigo, »O sistemu sveta« (*De mundi systemate*), uvaja kratko besedilo, v katerem Newton pojasnjuje, da je v predhodnih dveh knjigah predstavil principe filozofije, ki pa sami po sebi niso filozofski, temveč strogo matematični. Na teh principih lahko temelji preučevanje filozofije. Ti principi so zakoni in pogoji gibanja in sil, ki še posebej zadevajo filozofijo. Da ne bi bilo videti, da so ti principi sterilni, jih je že v prvih dveh knjigah ponazoril z nekaterimi filozofskimi sholijami, ki obravnavajo splošne zadeve, za katere se zdi, da so najbolj temeljne za filozofijo: gostota in upor teles, prostori brez teles (tj. praznina ali vakuum), gibanje svetlobe in zvokov. Sedaj je na vrsti sistem sveta, ki ga je treba izpeljati iz teh istih principov. Celotno delo zaključuje »Splošna sholija« (*Scholium generale*).

V pričujočem izboru smo se osredotočili na tista besedila, ki podajajo glavne poudarke in odločilne momente dela, kot jih je razumel Newton in v svojem

predgovoru predstavil Cotes. Poleg tega so v izbor vključena tudi tista besedila, v katerih Newton razvija najbolj obče predpostavke svoje filozofije narave in nenazadnje tudi metafizike. Ta besedila so: »Avtorjev predgovor bralcu« (1687), »Izdajateljjev predgovor k drugi izdaji (1713), »Definicije« (1726), »Aksiomi ali zakoni gibanja« (1726), »Pravila filozofiranja« (1726) in »Splošna sholija« (1726).

Vsa besedila so prevedena po kritični izdaji: *Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, tretja izdaja (1726) z različicami besedil, zbrala in uredila Alexandre Koyré in I. Bernard Cohen s pomočjo Anne Whitman, dva zvezka, Harvard University Press, Cambridge 1972.

# Kazalo

|    |   |
|----|---|
| 13 | Avtorjev predgovor bralcu (1687)              |
| 19 | Izdajateljjev predgovor k drugi izdaji (1713) |
| 37 | Definicije (1726)                             |
| 51 | Aksiomi ali zakoni gibanja (1726)             |
| 67 | Pravila filozofiranja (1726)                  |
| 73 | Splošna sholija (1726)                        |



# **AVTORJEV PREDGOVOR BRALCU**

(1687)

## Uredniška opomba

14

V predgovoru k prvi izdaji *Matematičnih principov filozofije narave* Newton umesti svoje delo v okvir klasične mehanike in ga opredeli kot »racionalno mehaniko« (tj. vedo o gibanjih, ki so rezultat sil, in o silah, ki ta gibanja povzročajo), s katero je razširil preučevanje »moči«, ki pridejo do izraza v petih tradicionalnih, s pomočjo človeških rok ustvarjenih napravah, na sile narave, kot so težkost, lahkost, elastična sila, upor tekočin ipd. Te so bodisi privlačne bodisi odbojne. Kot osnovni problem filozofije narave določi raziskovanje sil narave, ki mora izhajati iz naravnih pojavov, na podlagi česar sledi dokazovanje drugih pojavov. To je cilj prve in druge knjige *Principov*, ki obe nosita naslov »O gibanju«. Tretja knjiga, »O sistemu sveta«, je primer racionalne mehanike prvih dveh knjig. V tej knjigi na podlagi upoštevanja nebesnih pojavov in propozicij, ki so bile dokazane v prvih dveh, izpelje silo težkosti, težnosti oz. gravitacije (*gravitas*). Newton vsebinski del predgovora zaključí z zagonetnim namigom na neznane sile, ki iz neznanih vzrokov delce teles poganjajo skupaj ali jih ženejo narazen.

Vse besedilo v <koničastih oklepajih> je prevajalski dodatek, ki omogoča bolj tekoče branje.



Ker so stari *mehaniko* (kot navaja *Papos*)<sup>1</sup> pri raziskovanju narave najbolj cenili in ker so <naši> sodobniki, potem ko so zavrnilo substancialne oblike in skrite kvalitete,<sup>2</sup> začeli naravne pojave zvajati na matematične zakone, sem sklenil v tej razpravi obravnavati *matematiko*, v kolikor se ta nanaša na *filozofijo*. Stari pa so *mehaniko* razdelili na dva dela: na *racionalno*, ki napreduje natančno na osnovi dokazov, in *praktično*.<sup>3</sup> K praktični <mehaniki> spadajo vse ročne veščine, od katerih si je *mehanika* sploh izposodila svoje ime. Ker pa tisti, ki se ukvarjajo z veščinami, navadno delajo premalo natančno, se vsa *mehanika* od *geometrije* razlikuje tako, da se vse, kar je natančno, nanaša na *geometrijo*, kar je manj natančno, pa na *mehaniko*. Kljub temu pa tu ne gre za napake veščine, ampak rokodelcev. Kdor dela manj natančno, je nepopolnejši mehanik in če bi

<sup>1</sup> Cf. 8. knjigo *Matematičnih zbirk* Paposa Aleksandrijskega, v *Pappi Alexandrini collectionis quae supersunt*, III. zv., uredil, komentiral in v latinščino prevedel F. Hultsch, Weidemann, Berlin 1878, str. 1022–1028.

<sup>2</sup> Tj. aristotelsko ali šolsko, »sholastično« filozofijo, ki so jo zavračali predvsem predstavniki t. i. mehanicistične filozofije, kot npr. René Descartes, Pierre Gassendi, Thomas Hobbes, Robert Boyle, Christiaan Huygens in drugi.

<sup>3</sup> Cf. *Pappi Alexandrini collectionis quae supersunt*, III. zv., *Libri VIII reliquiae et excerpta ex Heronis mechanicis*, str. 1022. Papos, ki se pri tem sklicuje na Heronovo tradicijo, deli mehaniko na racionalno (*λογικόν /logikón/*) in ročno (*χειρουργικόν /cheirurgikón/*), pri čemer mu »racionalna mehanika« pomeni geometrijo, aritmetiko, astronomijo in fiziko, »ročna mehanika« pa vse, kar zahteva ročne spretnosti pri delu z bronom, v gradbeništvu, tesarstvu in pri slikanju. Cf. tudi Rudolf Goclenius, *Lexicon philosophicum Graecum, opus sane omnibus philosophiae alumnis valde necessarium cum perspicentia philosophysici sermonis plurimum etiam ad cognitionem rerum utile. Accedit adiicienda Latino lexico syllogae vocum & phrasium quarundam obsoletarum*, Marburg, 1615, str. 141–142: »Mehanika je večšina s <pomočjo> katere so narejene – ne samo na temelju matematičnih in fizikalnih premislekov (*rationibus*), temveč tudi s pomočjo ročnih veščin – naprave in orodja, ki so nujne, blagodejne in primerne za človeško družbo. Mehanika je *λογική /logiké/* (razumska (*rationalis*) oziroma teoretična) ali *χειρουργική /cheirurgiké/* (ali praktična). Papos Aleksandrijski, *Matematične zbirke*, 8. knjiga. Zadnja se imenuje tako, ker se izvaja z dejavnostjo rok. Teoretična mehanika se izvaja z uporabo geometrijskega, aritmetičnega, fizikalnega in astronomskega razmišljanja. Ta se deli v pet posebnih veščin [...]. Mehanika je dvojna: razumska (*rationalis*) in tudi bolj ročna (*manuaria magis*). Razumska (*λογική /logiké/*) mehanika je tista, ki se izvaja s pomočjo matematičnih in fizikalnih razmišljanj. Sestoji iz hipotez in teoremov.« Cf. tudi John Harris, *Lexicon Technicum: or, An Universal English Dictionary of Arts and Sciences: Explaining not only the Terms of Art, but the Arts Themselves*, London 1704, I. zv., geslo »Mehanika«, ki ravno tako razlikuje med racionalno in praktično mehaniko. Prva je »geometrija gibanja«, »matematična veda, ki kaže učinke moči ali gibalnih sil« in »dokazuje zakone gibanja«, druga pa je tista, ki zadeva ročne veščine, ki »zahtevajo tako ročno delo kot napor možganov«.

lahko kdo delal izjemno natančno, bi bil ta med vsemi najpopolnejši mehanik. Kajti tudi zarisovanja ravnih črt in krogov, na katerih je utemeljena *geometrija*, spadajo k mehaniki. *Geometrija* ne uči zarisovanja teh črt, temveč to postulira.<sup>4</sup> Postulira namreč, da se začetnik nauči te natančno zarisati prej, preden stopi na prag *geometrije*; nato uči, kako se s temi operacijami rešuje probleme; narisati ravne črte in kroge sta problema, vendar ne geometrijska. Rešitev teh se postulira od *mehanike*, v *geometriji* pa se poučuje raba tako rešenih <problemov>. In *geometrija* se baha, da lahko s tako peščico principov,<sup>5</sup> pridobljenih z drugih področij, ponudi toliko. *Geometrija* je torej utemeljena na mehanični praksi in ni nič drugega kot tisti del *splošne mehanike*, ki na podlagi veščine merjenja natančno tvori propozicije in dokazuje.<sup>6</sup> Ker pa se ročne veščine ukvarjajo posebej z gibanjem teles, se v običajnem smislu *geometrija* nanaša na velikost, *mehanika* pa na gibanje. V tem smislu bo *racionalna mehanika* na natančnih propozicijah in dokazih<sup>7</sup> temelječa veda o gibanjih, ki so rezultat katerih koli sil,<sup>8</sup> in o silah, ki se zahtevajo za katera koli gibanja. S tem delom *mehanike* so se stari ukvarjali na osnovi petih moči, ki se nanašajo na ročne veščine,<sup>9</sup> sicer pa se s težkostjo<sup>10</sup> (ker ni ročna moč) niso ukvarjali, razen pri premikanju tež<sup>11</sup> s pomočjo teh moči.<sup>12</sup> Ker pa se mi ne ukvarjamo z veščinami, ampak s filozofijo, in ker ne pišemo o ročnih močeh, ampak o naravnih, najbolj razpravljamo o tem, kar zadeva težkost, lahkost,<sup>13</sup> elastično silo, upor tekočin in tovrstne sile, bodisi privlačne bodisi odbojne.<sup>14</sup> In zato to <delo> predstavljamo kot naše matematične principe filozofije. Zdi se namreč, da je vsa težava filozofije v tem, da na podlagi pojavov gibanj raziščemo sile narave, in da nato na osnovi teh sil dokazujemo ostale pojave. In k temu cilju so usmerjene splošne propozicije, ki

<sup>4</sup> Lat. *postulat*; tj. »zahteva«, »že predpostavlja« ipd.

<sup>5</sup> Lat. *principiis*; tj. »načel« ali »počel«.

<sup>6</sup> Lat. *accurate proponit et demonstrat*.

<sup>7</sup> Lat. *accurate proposita ac demonstrata*.

<sup>8</sup> Lat. *viribus*.

<sup>9</sup> Mehanične »moči« ali »enostavne naprave« so: kolo in os, vzvod, škripčevje, klin ali zagozda ter vijačnica. Cf. Heronovo *Mehaniko*, v *Heronis Alexandrini opera*, II. zv., Teubner, Leipzig, 1900, II. knjiga, 1–32.

<sup>10</sup> Lat. *gravitas*. Izraz tradicionalno pomeni »težkost«, nov pomen »težnost« oziroma »gravitacija« mu je dal Newton.

<sup>11</sup> Lat. *ponderibus*; tudi »bremen«, »uteži« ipd.

<sup>12</sup> Tj. prej omenjenih petih »enostavnih naprav«.

<sup>13</sup> Lat. *levitas*.

<sup>14</sup> Lat. *attractivas seu impulsivas*.

smo jih obdelali v prvi in drugi knjigi. V tretji knjigi pa smo podali primer tega z razlago sistema sveta. Tam so namreč na osnovi nebesnih pojavov s propozicijami, ki so bile matematično dokazane v prejšnjih <dveh> knjigah, izpeljane sile težkosti, s katerimi telesa težijo k Soncu in k posameznim planetom. Nato so iz teh sil s propozicijami, ravno tako matematičnimi, izpeljana gibanja planetov, kometov, Lune in morja. O da bi lahko druge naravne pojave lahko izpeljevali iz mehaničnih principov z isto vrsto utemeljevanja!<sup>15</sup> Veliko stvari me nagiba k temu, da bi malce posumil, da so lahko vsi ti <naravni pojavi> odvisni od nekih sil, ki delce teles iz še neznanih vzrokov ali poganjajo enega proti drugemu in se ti spajajo v pravilne like ali pa delce ženejo stran enega od drugega in se ti umikajo. Ker so bile te sile neznane, so filozofi doslej zaman preizkušali naravo. Upam pa, da bodo tukaj postavljeni principi nekoliko osvetlili bodisi ta način filozofiranja bodisi kakega resničnejšega.

Pri izdaji tega dela je prizadevno pomagal nadvse bistroumni in na vseh področjih vednosti izobraženi Edmond Halley, ki ni samo popravil tiskarske napake in poskrbel za izdelavo lesorezov shem, ampak je bil tudi pobudnik, naj se lotim te izdaje. Ko je od mene dobil dokaz o obliki nebesnih orbit,<sup>16</sup> me ni nehal prositi, naj ta isti <dokaz> sporočim Kraljevi družbi, ki je nato s spodbudami in prijaznim pokroviteljstvom dosegla, da sem začel razmišljati o tem, da ga obelodanim.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Lat. *argumentandi*.

<sup>16</sup> Lat. *orbium*. Tudi v tem primeru je dal Newton, sledeč Keplerju in drugim, tradicionalnemu izrazu *orbis*, ki je v srednjeveški, renesančni in tudi pri nekaterih zgodnje modernih avtorjih pomenil trdno (*solidus*) »oblo« ali »sferično lupino«, nov pomen »orbita«, »pot«, »trajektorija« ipd.

<sup>17</sup> Začetki *Principia* segajo v leto 1684, ko je Newtona v Cambridgeu obiskal astronom Edmond Halley, eden od tajnikov Kraljeve družbe iz Londona. Halleyja je zanimalo Newtonovo mnenje o tem, kakšna bi bila orbita ali tirnica planeta, če bi nanj delovala osrednja sila, ki bi bila obratno sorazmerna s kvadratom razdalje. S tem vprašanjem sta se v Londonu poleg Halleya ukvarjala tudi Christopher Wren in Robert Hooke. Newton je imel odgovor pripravljen, saj se je s tem problemom že ukvarjal in si je o tem tudi dopisoval z Hookom: orbita ali tirnica planeta bi bila v tem primeru eliptične oblike. Ker pri sebi ni imel nobenih izračunov, ki bi to potrjevali, se je na Halleyevo prošnjo in spodbudo lotil pisanja spisa, ki se je ohranil v več različicah in ga poznamo pod naslovom »O gibanju« (*De motu*) ali »O gibanju teles« (*De motu corporum*), nazadnje pa mu je, ko je napisal še »O sistemu sveta« (*De systemate mundi*), naslov spremenil v *Matematični principi filozofije narave* (*Principia mathematica philosophiae naturalis*). Izdajo dela je sponzorirala Kraljeva družba iz Londona, vendar je moral denar za tisk prispevati tudi Halley. Ta je prevzel tudi vlogo urednika, saj je pregledal besedilo za tisk, nadzoroval izdelavo lesorezov za diagrame in naredil korekture, poleg tega pa je napisal tudi uvodno slavilno odo.

Toda potem ko sem se lotil <raziskovanja> neenakosti<sup>18</sup> lunarnih gibanj in sem nato začel preiskovati še druge stvari, ki so povezane z zakoni in merami težkosti in drugih sil; z oblikami, ki jih morajo zarisati telesa, pritegnjena po katerih koli zakonih; z gibanji več teles med seboj; z gibanji teles v upirajočih se medijih; s silami, gostotami in gibanji medijev; z orbitami kometov in s podobnimi zadevami, sem menil, da je treba izdajo prestaviti na drug čas, da bi preiskal še druge stvari in jih skupaj objavil. Izsledke glede lunarnih gibanj sem (čeprav so nepopolni) zajel skupaj v korolarjih 66. propozicije, da mi ne bi bilo treba posameznih zadev po metodi, ki bi bila obsežnejša, kot bi se za tematiko spodobilo, predstaviti s propozicijami in vsako posebej dokazovati ter <tako> prekiniti serijo ostalih propozicij. Nekatere prepozno odkrite stvari sem raje vključil na manj primerna mesta, kot pa da bi spreminjal številčenje trditev in citate. Iskreno prosim, naj se vse prebere in naj se pomanjkljivosti v tako zahtevni snovi, namesto da se jih kritizira, raje z novimi prizadevanji bralcev razišče in prijazno dopolni.

Cambridge,  
Kolidž Trinity, 8. maja 1686

---

<sup>18</sup> Lat. *inaequalitates*; tudi »neenakomernosti«.

## **IZDAJATELJEV PREDGOVOR K DRUGI IZDAJI**

(1713)

## Uredniška opomba

Newton je začel prvo izdajo *Principov* popravljati in dopolnjevati že kmalu po njenem izidu. Razlogov za to je bilo več: od tega, da je še naprej razvijal svoje ideje, zavedanja, da nekaterih vprašanj ni v popolnosti razrešil (tir kometov, gibanje Lune, »Keplerjev problem« ipd.), nasvetov in sugestij njegovih najožjih zaupnikov (Edmond Halley, Fatio de Duillier in David Gregory), ne nenazadnje pa tudi zaradi dostopnosti novih podatkov (Cassinijevo poročilo o Saturnovih satelitih in Flamsteedove tabele). Prva izdaja je bila deležna tudi nekaj kritik v recenzijah ter v (pol)zasebnem dopisovanju in člankih. Ena osrednjih kritičnih osti je bila usmerjena predvsem v »netelesno in nepojasnljivo moč« privlačnosti, tj. težkosti ali gravitacije. Leibniz je tako 10. februarja 1711 v pismu nizozemskemu filozofu narave Nikolausu Hartsoekerju, ki je bilo leta 1712 v Angliji objavljeno v reviji *Memoirs of Literature*, Newtonu očital, da je gravitacija »večni čudež«, v drugih spisih pa ga je obtožil, da je v filozofijo zopet vpeljal skrite kvalitete ter vzročno delovanje na daljavo, kar je mehanicistična filozofija odpravila.

Newton je leta 1709 za urednika in izdajatelja druge izdaje *Principia* izbral preučevalca antike Richarda Bentleya, ta pa je za dejansko uredniško delo zadolžil Rogerja Cotesa, nedavno imenovanega profesorja astronomije na kolidžu Trinity Univerze v Cambridgeu. Cotes je pri natančnem pregledovanju besedila odkril nekaj napak in pri Newtonu je dozorelo spoznanje, da sta predvsem druga in tretja knjiga *Principov* potrebni temeljitejše predelave. Cotes, Bentley in Newton so se z novo izdajo *Principov* ukvarjali skoraj štiri leta.

20

Cotes je za drugo izdajo napisal tudi dokaj obsežen predgovor. V besedilu zasleduje tako pojasnjevalne kot polemične cilje: v njem povzema glavne teze *Principia*, s poudarkom na teoriji gravitacije, obenem pa težkost (tj. težnost ali gravitacijo) brani pred očitkom, da je skrita kvaliteta ter zagovarja Newtonov sistem sveta nasproti kartezijanski teoriji vrtincev in metodo *Principov* pred konkurenčnimi metodologijami. Predgovor začenja s trojno delitvijo filozofije narave na »sholastično«, tisto, katere spekulacije temeljijo na hipotezah in tisto, ki izhaja iz preizkusov. Preostanek predgovora je posvečen obrambi metode eksperimentalne filozofije. Najprej jo bolj podrobno predstavi, potem pa pokaže, kako je Newton z njeno pomočjo vzpostavil teorijo splošne gravitacije. Sledi argumentacija proti kartezijanski teoriji vrtincev in plenističnemu pojmovanju vesolja. Cotes predgovor zaključí z ugotovitvijo, da se bodo »pošteni in pravični sodniki [...] torej držali najodličnejšega načina filozofiranja, ki temelji na poskusih in opazovanjih«.

Besedilo v [oglatih oklepajih] je uredniško, besedilo v <koničastih oklepajih> pa je prevajalski dodatek, ki omogoča bolj tekoče branje.

Blagonaklonjeni bralec, predstavljamo ti novo in dolgo pričakovano, že zelo popravljeno in razširjeno izdajo Newtonove filozofije. Katere so glavne vsebine, ki so vključene v to preslavno delo, lahko razbereš iz dodanih kazal; s tem, kaj je ali dodano ali spremenjeno, pa te bo nasploh seznanil avtorjev predgovor. Preostane torej, da se doda nekaj o metodi te filozofije.

Te, ki so se lotili obravnave fizike, je mogoče razdeliti na tri razrede. Obstajali so namreč taki, ki so posameznim vrstam stvari pripisovali skrite vrstne kvalitete; in trdili so, da so od teh nato odvisna delovanja posameznih teles, in to iz nekega neznanega razloga. Na tem je temeljil ves sholastični nauk, izpeljan iz Aristotela in peripatetikov: na vsak način trdijo, da posamezni učinki izvirajo iz posameznih narav teles; toda ne povedo, od kod so te narave, in zato ne povedo ničesar. In ker se v celoti posvečajo imenom stvari in ne samim stvarjem, jih je treba imeti za iznajditelje nekakšnega filozofskega žargona, ne pa za učitelje filozofije.

Drugi so torej upali, da si bodo z zavrnitvijo te nekoristne besedne mineštre pridobili sloves, da so bolj marljivi. In tako so postavili, da je vsa materija homogena in da vsa raznolikost oblik, ki je opazna na telesih, izvira iz nekih zelo enostavnih in zlahka umljivih afekcij <telesa> sestavljajočih delcev. In za napredovanje se pravilno postavlja, <da poteka> od enostavnejših stvari k bolj sestavljenim, če tistim primarnim afekcijam delcev ne podeljujejo drugačnih modusov kot te, ki jim jih je podelila sama narava. Toda ko si jemljejo svoboščino, da postavljajo katere koli neznane like in velikosti delcev, negotove lege in gibanja, da si celo izmišljajo neke skrite tekočine, ki zelo svobodno prodirajo skozi pore teles, ker so obdarjene z vsemogočno pretanjenostjo, ženejo pa jih skrivna gibanja, jih bo odneslo v sanjarjenja, saj so zanemarili resnično sestavo stvari; to je zagotovo zaman iskati v napačnih domnevah, ker jo je komajda mogoče raziskati celo ob zelo zanesljivih opazovanjih. Tisti, ki za temelj svojih spekulacij jemljejo hipoteze, četudi nato po mehaničnih zakonih zelo natančno napredujejo, je zanje treba reči, da sestavljajo sicer krasno in mikavno bajko, pa vendarle bajko.

Tako ostane tretja vrsta,<sup>1</sup> in sicer tisti, ki se ukvarjajo z eksperimentalno filozofijo. Ti sicer želijo vzroke vseh stvari izpeljevati iz najpreprostejših možnih principov, kot princip pa ne privzemajo ničesar takega, kar še ni bilo sopotrjeno iz pojavov. Hipotez si ne izmišljajo in jih tudi ne sprejemajo v fiziko, razen kot

---

<sup>1</sup> Dob. »rod«.

vprašanja, o katerih resničnosti naj se razpravlja. Delujejo torej po dveh metodah, analitični in sintetični. Iz nekaterih izbranih pojavov na osnovi analize izpeljujejo sile narave in enostavnejše zakone teh sil, iz katerih nato s sintezo podajajo sestavo ostalega. To je tisti daleč najboljši način filozofiranja, za katerega je tudi naš nadvse znameniti pisec menil, da se ga je bolj kot drugih upravičeno treba oprijeti. Presodil je, da je ta <način> edini vreden, da se ga oprime pri svojem delu in ga s tem povzdigne in okraši. Dal je torej najsvetlejši zgled tega <načina filozofiranja>, in sicer razlago sistema sveta, izjemno uspešno izpeljano iz teorije težkosti. Da sila težkosti obstaja v vseh telesih, so sumili ali si zamišljali že drugi: on pa je kot prvi in edini iz pojavov zmoget to dokazati in z vrhunskimi premisleki postaviti najtrdnejši temelj.

Sicer vem, da so nekateri možje, celo zelo ugledni, ki jih določeni predsodki zaposljujejo bolj, kot bi bilo prav, temu novemu principu zmoogli le stežka pritrditi in da so vedno znova negotovim stvarjem dajali prednost pred gotovimi. Nimam namena krniti njihovega slovesa; raje ti, naklonjeni bralec, tiste zadeve na kratko predstavim, da si na osnovi teh ti sam ustvariš pravično sodbo.

Da torej razpravo začnemo s stvarmi, ki so najpreprostejše in <nam> najbližje, si nekoliko poglejmo, kakšna je narava težkosti v zemeljskih <telesih>, da bomo, ko bomo prišli k nebesnim telesom, ki so zelo oddaljena od naših krajev, nato varneje nadaljevali. Danes med vsemi filozofi obstaja soglasje, da vsa telesa okoli Zemlje težijo proti Zemlji. Mnogotera izkušnja je že davno potrdila, da ne obstajajo nobena resnično lahka telesa. In to, kar se imenuje relativna lahkost, ni resnična lahkost, ampak samo navidezna in izvira iz močnejše težkosti dotikajočih se teles.

22

Dalje, kakor vsa telesa težijo proti Zemlji, tako Zemlja po drugi strani enako teži proti telesom. Da je delovanje težkosti vzajemno in iz obeh strani enako, se kaže takole. Naj se celotna gmota Zemlje razdeli na kakršna koli dva dela, bodisi enaka bodisi neenaka. Zdaj: če bi teže delov vzajemno ena na drugo ne bile enake, bi se manjša teža uklonila večji in bi se združeni deli še naprej gibali v neskončnost v tisto stran, v katero stremi večja teža – <kar je> povsem v nasprotju z izkušnjo. In tako bo treba reči, da so teže delov postavljene v ravnovesju, to je, da je delovanje težkosti vzajemno in iz obeh strani enako.



Teže teles, enako oddaljenih od središča Zemlje, so kot količine materije v telesih. To je vsekakor izpeljano iz enakega pospeševanja vseh teles, ki padajo iz mirovanja po silah tež. Kajti sile, s katerimi neenaka telesa enako pospešujejo, morajo biti sorazmerne s količinami materije, ki jo je treba gibati. Da pa vsa padajoča telesa enako pospešujejo, je jasno iz tega, da v Boylovem vakuumu<sup>2</sup> pri padanju v enakih časih opisujejo enake razdalje, če se seveda odstrani upor zraka. Natančneje pa se to lahko dokaže s poskusi z nihalom.

Privlačne sile teles na enakih razdaljah so kot količine materije v telesih. Ker namreč telesa težijo proti Zemlji in vzajemno Zemlja teži proti telesom z enakimi momenti,<sup>3</sup> bo teža Zemlje na sleherni telo ali sila, s katero telo privlači Zemljo, enaka teži tega istega telesa na Zemljo. Ta teža pa je bila <- kot je bilo omenjeno -> kot količina materije v telesu in tako bo sila, s katero sleherni telo privlači Zemljo, ali absolutna sila telesa, kot <njena> ista količina materije.

Privlačna sila celih teles torej izvira in je sestavljena iz privlačnih sil delov; kajti če se gmota materije poveča ali zmanjša, je bilo pokazano, da se sorazmerno poveča ali zmanjša njena sila. In tako je treba meniti, da je delovanje Zemlje rezultat združenih delovanj <njenih> delov. In zato je treba, da se vsa zemeljska telesa vzajemno privlačijo z absolutnimi silami, ki so v <so>razmerju z materijo, ki privlači. To je narava težkosti na Zemlji; zdaj poglejmo, kakšna je na nebu.

Naravni zakon, ki so ga sprejeli vsi filozofi, pravi, da vsako telo vztraja v svojem stanju bodisi mirovanja bodisi gibanja enakomerno naravnost naprej, razen v kolikor ga nanj vtisnjene sile prisilijo, da spremeni to stanje. Iz tega pa sledi, da telesa, ki se gibljejo po krivuljah in se zato nenehno odmikajo od ravnih črt, ki se dotikajo njihovih orbit, neka nenehno delujoča sila ohranja na njihovi ukrivljeni poti. Torej bo pri planetih, ki krožijo naokoli po ukrivljenih orbitah, nujno prisotna neka sila, katere ponovljena delovanja jih neprenehoma odbijajo od dotikajočih se ravnih črt.

Zdaj pa je že prav, da se prizna to, kar se lahko z matematičnimi razmisleki razbere in povsem zanesljivo dokaže, namreč da vsa telesa, ki se gibljejo v neki

<sup>2</sup> Robert Boyle je s pomočjo zračne črpalke iz steklene posode izčrpal zrak in v takšnem »vakuumu« izvedel številne preizkuse.

<sup>3</sup> Tj. »močmi«.

ukrivljeni črti, narisani na ravnini, in s polmerom, potegnjenim do točke, ki bodisi miruje ali pa se kakor koli giblje, zarisujejo območja okoli te točke, sorazmerne s časi, in da nanje pritiskajo sile, ki stremijo k isti točki. Ker je torej med astronomi priznано, da primarni planeti okoli Sonca, sekundarni pa okoli svojih primarnih zarisujejo s časi sorazmerna območja, posledično sledi, da je tista sila, ki jih nenehno odbija od premočrtnih dotikalnic in jih sili, da krožijo po ukrivljenih orbitah, usmerjena proti telesom, ki ležijo v središčih orbit. Zato je to silo, in sicer z ozirom na telo, ki kroži naokoli, mogoče zelo primerno poimenovati sredotežna, z ozirom na središčno telo pa privlačna, pa naj si končno izmislimo, da izvira iz katerega koli že vzroka.

Celo to je treba tudi priznati in je mogoče matematično dokazati. Če več teles kroži naokoli z enakim gibanjem v istosrednih krogih in če so kvadrati obhodnih časov kot kubi razdalj od skupnega središča, bodo sredotežne sile naokoli krožečih <teles> obratno sorazmerne s kvadrati razdalj.<sup>4</sup> Oziroma, če telesa krožijo naokoli po orbitah, ki so skoraj že krožnice, in apside orbit mirujejo, bodo sredotežne sile naokoli krožečih <teles> obratno sorazmerne kvadratom razdalj. Astronomi soglašajo, da gre pri vseh planetih [tako primarnih kot sekundarnih] za en ali drugi primer. In tako so sredotežne sile vseh planetov obratno sorazmerne kvadratom razdalj od središč orbit. Če bi kdo ugovarjal, da apside planetov in še zlasti Lune, ne mirujejo povsem, ampak se z nekim počasnim gibanjem gibljejo v sosledju,<sup>5</sup> je mogoče odgovoriti, da četudi dopustimo, da to zelo počasno gibanje izhaja iz dejstva, da sorazmerje sredotežne sile le nekoliko odstopa od [obratnega] kvadrata, je ta odklon mogoče odkriti z matematičnim izračunom in da je povsem neznaven. Samo razmerje sredotežne lunarne sile namreč, ki bi se moralo med vsemi najbolj odkloniti [od kvadrata], bo sicer malenkost presegalo kvadrat, mu bo pa kljub temu šestdesetkrat bližje kot kubu. Toda resničnejši odgovor [na ta ugovor] bo, če rečemo, da to napredovanje apsid ne izhaja iz odstopanja sorazmerja [obratnega] kvadrata, ampak iz nekega povsem drugačnega vzroka, kot je izvrstno dokazano v tej <Newtonovi> filozofiji. Ostane torej, da so sredotežne sile, s katerimi primarni planeti stremijo proti

24

<sup>4</sup> V originalu: »vires centripetas revolventium fore reciproce ut quadrata diflantiarum«. To je zakon obratnega kvadrata, po katerem je sredotežna sila (gravitacija) obratno sorazmerna s kvadratom razdalje od vira sile.

<sup>5</sup> Lat. *in consequentia*.

Soncu in sekundarni proti svojim primarnim, natančno obratno sorazmerne s kvadrati razdalj.

Iz doslej povedanega je znano, da planete na njihovih orbitah ohranja neka sila, ki nanje nenehno deluje; znano je, da je ta sila vedno usmerjena proti središčem orbit; znano je, da se njeno učinkovanje povečuje s približevanjem središču in da se manjša z oddaljevanjem od njega ter da se sicer povečuje v enakem razmerju, v kakršnem se zmanjšuje kvadrat razdalje. Poglejmo zdaj s primerjavo med sredotežnimi silami planetov in silo težkosti, ali so nemara iste vrste. Iste vrste pa bodo, če se v enih in drugih lahko najde iste zakone in iste afekcije. In zato najprej preudarimo sredotežno silo Lune, ki je nam najbližja.

Premočrtni prostori, ki jih zarisujejo iz mirovanja izpuščena telesa v danem času ob samem začetku gibanja, ko nanje pritiskajo katere koli sile, so sorazmerni s samimi silami; to seveda sledi iz matematičnih razmišljanj. Torej bo sredotežna sila Lune, ki kroži po svoji orbiti, do sile težkosti na površini Zemlje kot prostor, ki bi ga v kar najmanjšem času zarisala Luna, spuščajoča se proti Zemlji s svojo sredobežno silo – če si zamislimo, da je brez vsakršnega krožnega gibanja – do prostora, ki ga težko telo zariše v istem najmanjšem času v bližini Zemlje, ko pada s silo svoje težkosti. Prvi od teh prostorov je enak obrnjenemu sinusu loka, ki ga v istem času opiše Luna, kajti ta <obrnjeni sinus> meri prenos od dotikalnice, ki ga povzroči sredotežna sila; in zato ga je mogoče izračunati, če sta dana tako obhodni čas Lune kot tudi njena oddaljenost od središča Zemlje. <Drugi> prostor je mogoče odkriti s poskusi z nihalom, kakor je učil Huygens.<sup>6</sup> In če tako začnemo izračun, bo prvi prostor do drugega oziroma sredotežna sila Lune, ki kroži na svoji orbiti, do sile težkosti na površini Zemlje kot kvadrat polmera Zemlje do kvadrata polmera orbite. Na osnovi tega, kar je pokazano zgoraj, je med sredotežno silo Lune, ki kroži na svoji orbiti, in sredotežno silo Lune blizu površine Zemlje enako razmerje. Tako je sredotežna sila blizu površine Zemlje enaka sili težkosti. Ti sili torej nista različni, ampak gre za eno in isto; če bi namreč bili različni, bi telesa z združenima silama padala na Zemljo dvakrat hitreje kot samo s silo težkosti. Znano je torej, da je tista sredotežna sila, ki Luno nenehno ali vleče ali poganja od dotikalnice in jo zadržuje na orbiti, prav sila Zemljine težkosti, ki sega vse tja do Lune. In razumno je, da se ta sila razteza

<sup>6</sup> Cf. Christiaan Huygens, *Horologium Oscillatorium: sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae*, Pariz 1673.

v ogromne razdalje, ker ni mogoče opaziti, da bi se zaznavno zmanjšala, celo na najvišjih vrhovih gora ne. Luna torej teži proti Zemlji; še več, z vzajemnim delovanjem z druge strani Zemlja enako teži proti Luni in to je izdatno potrjeno v tej <Newtonovi> filozofiji tam, kjer se obravnava plimovanje morja in precesija enakonočij, ki izvirata tako iz delovanja Lune kot Sonca na Zemljo. Od tod se naposled tudi poučimo, po katerem zakonu sila težkosti nedvomno upada na večjih razdaljah od Zemlje. Ker namreč težkost ni različna od Lunine sredotežne sile, ta pa je obratno sorazmerna s kvadratom razdalje, se bo v enakem razmerju manjšala tudi težkost.

Pojdimo zdaj naprej k drugim planetom. Ker so kroženja primarnih <planetov> okoli Sonca in sekundarnih okoli Jupitra in Saturna istovrstni pojavi kot je kroženje Lune okoli Zemlje – kajti dalje je bilo dokazano, da so sredotežne sile primarnih <planetov> usmerjene proti središču Sonca, <sredotežne sile> sekundarnih pa proti središčema Jupitra in Saturna, kakor je sredotežna sila Lune usmerjena proti središču Zemlje, in poleg tega so vse te sile obratno sorazmerne kvadratom razdalj od središč, kakor je sila Lune obratno sorazmerna kvadratu razdalje od Zemlje – bo treba skleniti, da imajo vsi <planeti> isto naravo. In zato: kakor Luna teži proti Zemlji in Zemlja po drugi strani teži proti Luni, tako bodo vsi sekundarni <planeti> težili proti svojim primarnim in primarni po drugi strani proti sekundarnim in tako <bodo> tudi vsi primarni <težili> proti Soncu in Sonce po drugi strani proti primarnim.

Sonce torej teži proti vsem planetom in vsi planeti <težijo> proti Soncu. Sekundarni planeti namreč spremljajo svoje primarne, medtem ko krožijo okoli Sonca skupaj s primarnimi. In tako po isti utemeljitvi planeti ene in druge vrste težijo proti Soncu in Sonce teži proti njim samim. Da pa sekundarni planeti težijo proti Soncu, je vrh tega izdatno jasno iz lunarnih neenakosti; zelo natančno teorijo teh, pojasnjeno z občudovanja vredno pronicljivostjo, imamo predstavljeno v tretji knjigi tega dela.

26

Da se privlačna sila Sonca širi v vse strani vse tja do ogromnih razdalj in da se razliva do posameznih delov obdajajočega prostora, je mogoče povsem jasno razbrati iz gibanja kometov, ki začnejo pot v neizmernih daljavah in potujejo v bližino Sonca, včasih se mu tako zelo približajo, da se zdi, da se, ko se nahajajo v svojih prisončjih, malodane dotikajo njegove krogle. Teorijo kometov so astronomi doslej zaman iskali, našemu nadvse odličnemu piscu pa smo dolžni

zahvalo, da je bila <ta teorija> v našem času naposled uspešno odkrita in nadvse zanesljivo dokazana na osnovi opazovanj. Jasno je torej, da se kometi gibljejo v koničnih odsekih, ki imajo žarišča v središču Sonca in da z žarki, potegnjenimi do Sonca, opisujejo območja, ki so sorazmerna s časi. Iz teh pojavov pa je očitno in matematično dokazano, da so tiste sile, ki komete zadržujejo na njihovih orbitah, usmerjene proti Soncu in da so obratno sorazmerne kvadratom razdalj od Sončevega središča. Kometi torej težijo proti Soncu; in sicer tako privlačna sila Sonca sega ne samo do teles planetov, ki so zbrana na danih razdaljah in skoraj na isti ravnini, ampak tudi do kometov, ki so postavljeni na zelo različna območja neba in na zelo različnih razdaljah. To je torej narava težečih teles, da svoje sile oddajajo na vse razdalje na vsa težeča telesa. Iz tega pa sledi, da se vsi planeti in vsi kometi vzajemno privlačijo in da so vzajemno eden do drugega težki; to potrjujeta tudi perturbacija Jupitra in Saturna, ki jo astronomi dobro poznajo in izvira iz vzajemnega delovanja teh planetov enega na drugega in celo tisto zelo počasno gibanje apsid, ki je bilo omenjeno zgoraj in ki izhaja iz podobnega vzroka.

Naposled smo prišli do točke, da je treba povedati, da se in Zemlja in Sonce in vsa nebesna telesa, ki Sonce spremljajo, vzajemno privlačijo. Vsi najmanjši delci posameznih <teles> bodo torej imeli svoje privlačne sile, katerih moč bo skladna s količino materije, kakor je bilo pokazano zgoraj za zemeljska telesa. Na različnih razdaljah pa bodo tudi njihove moči obratno sorazmerne kvadratom razdalj, kajti matematično je dokazano, da morajo biti iz delcev, ki po tem zakonu vlečejo, sestavljene krogle, ki vlečejo po istem zakonu.

Predhodni sklepi se naslanjajo na aksiom, ki ga sprejemajo vsi filozofi, namreč da imajo istovrstni<sup>7</sup> učinki – torej učinki, katerih znane lastnosti so iste – iste vzroke in iste še neznane lastnosti. Če je namreč težkost vzrok za padec kamna v Evropi, kdo dvomi v to, da bi bil isti vzrok za padec <kamna> v Ameriki? Če bo težkost med kamnom in Zemljo vzajemna v Evropi, kdo bo zanikal, da je vzajemna v Ameriki? Če je privlačna sila kamna in Zemlje v Evropi sestavljena iz privlačnih sil delov, kdo bo zanikal, da je <njena> sestava v Ameriki podobna? Če se privlačnost Zemlje v Evropi razširja do vseh vrst teles in do vseh razdalj, kako neki ne bi rekli, da se enako razširja v Ameriki? Na tem pravilu temelji vsa filozofija, kajti če bi to pravilo bilo odpravljeno, bi ne mogli o vseh stvareh trditi

<sup>7</sup> Dob. »istega rodu«.

prav ničesar. Sestava posameznih stvari postane znana z opazovanji in poskusi; iz njih pa samo na osnovi tega pravila sodimo o naravi vseh stvari.

In zdaj: ker so vsa telesa, ki jih najdemo na Zemlji ali na nebu in na katerih je mogoče izvajati poskuse ali opazovanja, težka, je treba nasploh reči, da težkost pripada vsem telesom. In kakor se ne sme za nobena telesa pojmovati, da ne bi bila razsežna, gibljiva in nepredirna, tako se za nobena ne sme pojmovati, da ne bi bila težka. Razsežnost teles, gibljivost in nepredirnost postanejo znane samo s poskusi; na povsem enak način postane znana težkost. Vsa telesa, ki so predmet naših opazovanj, so razsežna, gibljiva in nepredirna in od tod sklepamo, da so vsa telesa, tudi tista, ki niso predmet naših opazovanj, razsežna, gibljiva in nepredirna. Tako so vsa telesa, ki so predmet naših opazovanj, težka in od tod sklepamo, da so vsa telesa, tudi tista, ki niso predmet naših opazovanj, težka. Če bi kdo rekel, da telesa zvezd stalnic niso težka, ker njihova težkost še ni bila opažena, bo z isto utemeljitvijo mogoče reči, da niso ne razsežna ne gibljiva in ne nepredirna, ker te afekcije zvezd stalnic še niso bile opažene. Kaj bi še govoril? Med primarnimi kvalitetaми vseh teles bo ali težkost imela svoj prostor ali pa ga razsežnost, gibljivost in nepredirnost ne bodo imele. In narava stvari bo ali pravilno razložena s težkostjo teles ali pa ne bo pravilno razložena z razsežnostjo, gibljivostjo in nepredirnostjo teles.

Slišim, da nekateri zavračajo ta sklep in da nekaj mrmrajo o skritih kvalitetaх. Nenehno namreč blebetajo, da je težkost nekaj skritega, da pa je skrite vzroke treba povsem odpraviti iz filozofije. Tem se zlahka odgovori, namreč da skriti vzroki niso tisti, katerih obstoj je mogoče povsem jasno dokazati z opazovanji, ampak samo ti, katerih obstoj je skrit in namišljen in še ni bil potrjen. Težkost torej ni skriti vzrok nebesnih gibanj, kajti pojavi so pokazali, da ta sila v resnici obstaja. Bolj se k skritim vzrokom zatekajo tisti, ki kot vodje za usmerjanje teh gibanj postavljajo nekakšne vrtince neke povsem izmišljene in čutom povsem neznane materije.

28

Se bo torej za težkost reklo, da je skriti vzrok in se jo bo s to oznako zavrglo iz filozofije, češ da je vzrok same težkosti skrit in še neodkrit? Naj tisti, ki postavljajo tako trditve, pazijo, da ne postavljajo kake absurdne trditve, ki bi naposled zamajala temelje celotne filozofije. Vzroki namreč navadno napredujejo v nenehni povezavi od sestavljenih k enostavnejšim; ko boš prišel do najenostavnejšega vzroka, ne boš več mogel naprej. Za najenostavnejše vzroke torej ni mogoče dati

nobenega mehaničnega pojasnila; če bi ga bilo mogoče dati, vzrok še ne bi bil najenostavnejši. Boš potemtakem te najenostavnejše vzroke imenoval skriti in jih boš ukazal izgnati? Obenem pa bodo izgnali tudi od teh neposredno odvisne <vzroke> ter tiste, ki so dalje odvisni od slednjih, vse do tedaj, ko bo filozofija ostala brez vseh vzrokov in bo povsem očiščena.

So pa tudi taki, ki pravijo, da je težkost nenaravna in jo imenujejo večni čudež.<sup>8</sup> Zato so prepričani, da jo je treba zavreči, ker za nenaravne vzroke v fiziki ni prostora. Komajda vredno je izgubljeni čas za to, da se ovrže ta docela nes pametni očitok, ki že sam spodkopava celotno filozofijo. Ali bodo namreč trdili, da težkost ni dana v vsa telesa – česar vendar ni mogoče trditi – ali pa bodo zatrjevali, da je v imenu tega, ker da ne izvira iz drugih afekcij teles in zato ne iz mehaničnih vzrokov, nenaravna. Primarne afekcije teles so vsekakor dane in ker so primarne, niso odvisne od drugih. Naj torej razmislijo, ali niso tudi vse te enako nenaravne in jih je zato treba enako zavreči; naj pa tudi razmislijo, kakšna bo potem filozofija.

Nekaj je takih, ki jim vsa ta nebesna fizika ni všeč samo zato, ker nasprotuje Descartesovim dogmam in ker je videti, da bi se jo dalo le stežka uskladiti <z njimi>.<sup>9</sup> Ti bodo lahko ostali pri svojem mnenju, vendar pa morajo biti pravični; torej tudi drugim ne bodo odrekli iste svoboščine, za katero zahtevajo, da se jim dovoli. In zato nam bo dovoljeno oprijeti se in držati Newtonove filozofije, ki je po našem mnenju resničnejša, ter z dokazi potrjenim vzrokom slediti raje kot pa namišljenim in še nepotrjenim. V domeno prave filozofije spada, da izpeljuje narave stvari iz resnično obstoječih vzrokov, da išče tiste zakone, s katerimi je hotel najvišji tvorec narediti ta najlepši red sveta, ne tistih, s katerimi bi ga lahko, če bi bil tako sklenil. Skladno z razumom je namreč, da lahko iz več medsebojno nekoliko različnih vzrokov izhaja isti učinek; pravi vzrok pa bo tisti, iz katerega <učinek> resnično in dejansko izhaja, za ostale pa v pravi filozofiji ni prostora. V samodejnih <ali mehaničnih> urah lahko isto gibanje kazalca izvira ali iz obešene uteži ali iz vzmeti, zaprte v uri. Toda če bi bila ta ura, ki je navedena kot primer, v resnici opremljena z utežjo, se bodo posmehovali tistemu, ki si bo izmislil vzmet in bo skušal gibanje kazalca razložiti na osnovi tako pre nagljeno

<sup>8</sup> Cf. Leibnizovo pismo, omenjeno v uredniški opombi.

<sup>9</sup> Newton Descartesovo teorijo vrtnincev kritizira na koncu druge knjige *Matematičnih principov filozofije narave*.

zamišljene hipoteze, kajti moral bi temeljiteje pregledati notranjo sestavo narave, da bi se tako lahko z gotovostjo prepričal o resničnem principu obravnavanega gibanja.<sup>10</sup> Ista ali podobna bo sodba o tistih filozofih, ki so zagovarjali mnenje, da so nébesi napolnjeni z neko zelo pretanjeno materijo, ki se nenehno giblje v vrtince. Če bi namreč <ti filozofi> lahko na osnovi svojih hipotez kar najnatančneje zadovoljivo pojasnili pojave, bi kljub temu zanje še ne mogli reči, da so <nam> posredovali resnično filozofijo in da so odkrili resnične vzroke nebesnih gibanj, če nam ne bi dokazali, da ti <vzroki> zares obstajajo, ali vsaj, da drugi <vzroki> ne obstajajo. Če bo torej pokazano, da ima privlačnost vseh teles resnično mesto v naravi stvari, in če bo celo pokazano, na kakšen način je s privlačnostjo mogoče razrešiti vsa nebesna gibanja, bo prazen in upravičeno posmeha vreden ugovor, če bo kdo rekel, da je treba ta ista gibanja razložiti z vrtinci, četudi bi v še tako polni meri dopustili, da bi se to lahko zgodilo. Vendar pa tega ne dopuščamo, kajti pojavov ni mogoče na noben način razložiti z vrtinci, kar naš pisec izdatno dokazuje z nadvse jasnimi utemeljitvami, tako da se morajo <posledično> tisti, ki vlagajo jalov trud v to, da znova in znova krpajo svoj povsem neprimeren izmislek in ga še naprej lišpajo z novimi izmišljotinami, predajati sanjarjenju bolj, kot bi bilo prav.

Če telesa planetov in kometov okoli Sonca nosijo vrtinci, se morajo telesa, ki jih nosi okoli, in deli vrtincev, ki jih neposredno obdajajo, gibati z isto hitrostjo in z isto določitvijo smeri in imeti morajo isto gostoto ali isto silo inercije glede na gmoto materije. Znano pa je, da se planeti in kometi, medtem ko so v istih predelih nébesov, gibljejo z različnimi hitrostmi in z različno določitvijo smeri. Nujno torej sledi, da tisti deli nebesne tekočine, ki so na enakih razdaljah od Sonca, krožijo istočasno na različne strani z različnimi hitrostmi; kajti potrebna bo ena smer in hitrost, da lahko <nebo> prečkajo planeti, in druga, da ga lahko prečkajo kometi. Ker pa tega ni mogoče razložiti, bo ali treba priznati, da materija vrtinca ne nosi s seboj vseh nebesnih teles, ali pa bo treba reči, da morajo ponavljajoča gibanja teh istih <planetov in kometov> izhajati ne iz enega in istega vrtinca, ampak iz več medsebojno različnih vrtincev in da prečkajo isti prostor, ki obdaja Sonce.

30

<sup>10</sup> Cf. René Descartes, *Principi filozofije*, IV, 204, v isti, *Oeuvres de Descartes*, VIII-1, ur. Ch. Adam in P. Tannery, Cerf, Pariz 1905, str. 289.



Če se postavi <trditev>, da isti prostor vsebuje več vrtincev, da vzajemno prodirajo eden v drugega in da krožijo z različnimi gibanji – kajti ta gibanja morajo biti skladna z gibanji naokoli nošenih teles, ki so najbolj pravilna in potekajo po koničnih odsekih, ki so enkrat zelo izsredni, drugič pa se zelo približajo obliki krogov –, bo upravičeno treba vprašati, kako se lahko zgodi, da se ti isti <vrtinci> ohranjajo nedotaknjeni in da delovanja materije, ki zadeva ob njih skozi toliko stoletij, v njih ne povzročajo prav nobene zmede. Če so seveda ta izmišljena gibanja bolj zapletena in težje razložljiva kot tista resnična gibanja planetov in kometov, se mi zdi, da jih zaman vključujemo v filozofijo <narave>; vsak vzrok mora namreč biti enostavnejši od svojega učinka. Če pa si privoščimo svoboščino, da si izmišljamo stvari, naj le kdo zatrdi, da so vsi planeti in kometi obdani z atmosferami, tako kot naša Zemlja; ta hipoteza bo gotovo videti bolj razumna kot hipoteza o vrtincih. Naj nato zatrdi, da se te atmosfere po svoji naravi gibljejo okoli Sonca in da zarisujejo konične odseke; to gibanje bi bilo gotovo mogoče dosti lažje pojmovati kot podobno gibanje vrtincev, ki vzajemno prodirajo eden v drugega. Končno naj postavi trditev, da je treba verjeti, da same planete in komete okoli Sonca nosijo njihove atmosfere, in naj zaradi odkritja vzrokov nebesnih gibanj triumfira. Kdor koli pa bi menil, da je treba to bajko zavreči, bo zavrgel tudi drugo bajko: jajce je namreč enako podobno jajcu kot je hipoteza o atmosferah podobna hipotezi o vrtincih.

Galileo je učil: ko zalučamo kamen in se giblje v paraboli, izvira njegov odklon od premočrtne poti iz težkosti kamna proti Zemlji, torej iz skrite kvalitete. Kljub temu se lahko zgodi, da bi se kak drug filozof, ki ima ostrejši nos, domislil drugega vzroka. Ta si bo torej izmislil, da se neka pretanjena materija, ki je ni mogoče zaznati ne z vidom ne s tipom in sploh z nobenim čutom, nahaja na območjih, ki se neposredno dotikajo površine Zemlje. Zatrjeval bo, da to materijo z različnimi in večinoma nasprotnimi gibanji nosi na različne strani in da opisuje parabolične črte. Nato pa bo tako lepo razložil odklon kamna in prislужil si bo aplavz množic. Rekel bo: »Kamen plava v tisti pretanjeni tekočini in s tem, ko sledi njenemu toku, ne more obenem opisovati iste poti. Tekočina pa se giblje v paraboličnih črtah; torej je nujno, da se kamen giblje v paraboli.« Kdo se zdaj ne bo čudil nadvse ostremu umu tega filozofa, ki krasno izpeljuje naravne pojave iz mehaničnih vzrokov, namreč materije in gibanja, in to tako, da to razumejo tudi navadni ljudje? In kdo ne bo zasmehoval dobrega starega Galileija, ki je skušal z veliko matematičnega truda znova obuditi skrite, iz filozofije srečno izključene kvalitete? Toda sram me je, da bi še naprej izgubljal čas s takimi burkami.

Celotna tematika se naposled vrača sem: število kometov je ogromno; njihova gibanja so kar najbolj pravilna in se ravna po istih zakonih kot planeti. Gibljejo se po koničnih orbitah, te orbite so zelo izsredne. Nosi jih povsod v vse dele neba, povsem prosto prečkajo območja planetov in pogosto potujejo nasprotno vrstnemu redu nebesnih znamenj. Ti pojavi so z vso gotovostjo potrjeni na osnovi astronomskih opazovanj in vrtinci jih ne morejo razložiti. Še več: ob vrtincih niti ne morejo obstajati. Za gibanja kometov sploh ne bo prostora, če se te izmišljene materije povsem ne odstrani z neba.

Če namreč planete okoli Sonca nosijo vrtinci, bodo deli vrtincev, ki neposredno obdajajo sleherni planet, enake gostote kot planet, kot je bilo povedano zgoraj. In tako bo vsa tista materija, ki se stika z obodom velike <Zemljine> orbite, imela enako gostoto kot Zemlja, tista pa, ki leži znotraj velike <Zemljine> orbite in orbite Saturna, bo imela ali enako ali večjo. Da se namreč lahko sestava vrtinca ohranja, morajo manj gosti delci zasedati središče, gostejši pa morajo biti odmaknjeni dlje od središča. Ker so namreč obhodni časi planetov v razmerju 3 : 2 razdalj od Sonca, morajo obhodni časi delov vrtinca ohranjati enako razmerje. Iz tega pa resnično sledi, da bodo sredobežne sile teh delov obratno kot kvadrati razdalj. Tisti <deli> torej, ki so bolj oddaljeni od središča, se trudijo<sup>11</sup> z manjšo silo umakniti se od tega istega <središča>; in če bi zato bili manj gosti, je nujno, da se uklonijo večji sili, s katero se deli, ki so bližje središča, skušajo dvigovati. Dvigali se bodo torej gostejši deli, spuščali pa se bodo manj gosti in prišlo bo do vzajemne zamenjave mest, dokler ne bo tekoča materija celotnega vrtinca tako razporejena in urejena, da potem, ko je bila postavljena v ravnovesje, že lahko miruje.<sup>12</sup> Če sta v isti posodi vsebovani dve tekočini, ki imata različno gostoto, se bo gotovo zgodilo, da bo tekočina, ki ima večjo gostoto, z večjo silo težkosti stremela proti najnižjemu mestu; in z enako utemeljitvijo je nasploh treba reči, da gostejši deli vrtinca z večjo sredobežno silo iščejo najvišje mesto.<sup>13</sup> Torej bo ves tisti in daleč največji del vrtinca, ki leži zunaj Zemljine orbite, imel gostost in zato tudi silo inercije skladno z gmoto materije, ki ne bo manjša kot gostota in sila inercije Zemlje. Iz tega pa bo izviral za komete, ki prečkajo <nebo>, ogromen upor, ki je zelo zaznaven; da ne rečem, da se upravičeno zdi, da lahko ta <upor>

32

<sup>11</sup> Lat. *nituntur*; tudi »si prizadevajo«, saj je to sopomenka za *conari*, *conatus*.

<sup>12</sup> Deli materije so popolnoma v mirovanju v medsebojnem oziru, se pravi, da se nič več ne dvigujejo in spuščajo.

<sup>13</sup> Lat. *petere supremum locum*.

povsem ustavi ali vsrka njihovo gibanje. Na podlagi nasploh pravilnega gibanja kometov pa je jasno, da ne utrpevajo nobenega upora, ki bi ga bilo mogoče vsaj minimalno zaznavati, in da ne zadenejo ob prav nobeno materijo, ki ima kakšno silo upiranja, oziroma ima potemtakem neko gostost ali silo inercije. Upor medijev namreč izvira ali iz inercije tekoče materije ali iz pomanjkanja spolzkosti.<sup>14</sup> Ta, ki izvira iz pomanjkanja spolzkosti, je zelo pičel in ga je gotovo mogoče le stežka opaziti pri splošno znanih tekočinah, razen če so morda zelo židke, kot na primer olje in med. Upor, ki se ga čuti v zraku, vodi, živem srebru in tovrstnih nežidkih tekočinah, je skoraj v celoti prve vrste<sup>15</sup> in njegove pretanjenosti ni mogoče zmanjšati za nobeno nadaljnjo stopnjo, če le ostane gostost tekočine ali sila inercije, s katero je ta upor vedno v sorazmerju, kakor je ta naš pisec nadvse jasno dokazal v prekrasni teoriji o uporih, ki je zdaj, v tej drugi izdaji predstavljena malce natančneje in je na osnovi poskusov s padajočimi telesi obširneje potrjena.

Telesa s tem, ko se gibljejo naprej, svoje gibanje polagoma delijo z obdajajočo jih tekočino, ga s podeljevanjem izgublajo, z izgubljanjem gibanja pa se upočasnjujejo. Tako je upočasnjevanje sorazmerno s podeljenim gibanjem, podeljeno gibanje, kjer je dana hitrost naprej gibajočega se telesa, pa je kot gostota tekočine; torej bo upočasnjevanje ali upor kot ta gostota tekočine; te na noben način ni mogoče odstraniti, razen če tekočina, ki teče nazaj k zadnjim delom telesa, ponovno vzpostavi izgubljeno gibanje. Tega pa ni mogoče reči, razen če pritisk tekočine na telo, in sicer na zadnje dele telesa, ni enak pritisku telesa na tekočino, in sicer na sprednjih delih <telesa>, to je, razen če relativna hitrost, s katero tekočina potiska telo od zadaj, ne bo enaka hitrosti, s katero telo zadeva ob tekočino, to je, če ne bo absolutna hitrost nazaj tekoče tekočine dvakrat večja kot absolutna hitrost naprej potisnjene tekočine, kar pa se ne more zgoditi. Na noben način torej ni mogoče odvzeti upora tekočin, ki izvira iz njihove gostote in sile inercije. In tako bo treba skleniti, da nebesna tekočina nima nobene sile inercije, ker nima nobene sile upiranja; da nima nobene sile, s katero bi se gibanje podeljevalo, ker nima nobene sile inercije; da nima nobene sile, zaradi katere bi na posameznih telesih ali na več telesih prišlo do kakršne koli spremembe, ker nima nobene sile, s katero bi se gibanje podeljevalo; da nima sploh nobene učinkovitosti, ker nima nobene zmožnosti, da bi pripeljala do kakršne koli spremembe. Zakaj bi torej za to hipotezo, za katero je jasno, da nima prav

<sup>14</sup> Lat. *defectu lubricitatis*. Povedano drugače: »zaradi trenja«.

<sup>15</sup> Dob. »rodu«.

nobene osnove, in ki niti najmanj ne koristi pri razlagi narave stvari, ne bilo dovoljeno reči, da je povsem nesmiselna in povsem nevredna filozofa? Tisti, ki menijo, da je nebo napolnjeno s tekočo materijo, pa trdijo, da ta ni inertna, z besedami sicer odvezemajo vakuum, dejansko pa pravijo, da obstaja. Kajti ker takšne tekoče materije z nobenim razmislekom ni mogoče razlikovati od praznega prostora, je celotno razpravljanje zvedeno na imena stvari in ne na njihove narave. Če pa so kakšni taki, da so tako zelo predani materiji, da na noben način nočejo dopustiti <obstoja> prostora brez teles, poglejmo, kam nas bo to moralo naposled pripeljati.

Ti bodo namreč rekli, da je ta sestava vsepovsod polnega sveta, ki si jo zamišljajo, ali izšla iz volje Boga s tem namenom, da bi lahko nadvse pretanjeni eter, ki navdaja in napolnjuje vse, delovanjem narave nudil takojšnjo podporo, česar pa ni mogoče reči, ker je bilo že na osnovi pojavov kometov pokazano, da ta eter nima prav nobene učinkovitosti; ali pa bodo rekli, da je <ta sestava> izšla iz volje Boga z nekim neznanim namenom, česar pa se tudi ne sme reči, kajti z isto utemeljitvijo je enako mogoče osnovati drugačno sestavo sveta; ali pa končno ne bodo rekli, da je izšla iz volje Boga, ampak iz neke nujnosti narave. Tako se torej morajo naposled potopiti v gnojnico najbolj nesnažne črede. To so taki, ki sanjajo, da vsemu vlada usoda, ne previdnost; da je materija po svoji nujnosti obstajala vedno in povsod ter da je neskončna in večna. Ob takšnih postavkah bo <materija> tudi vsepovsod enolična, kajti različnost oblik je povsem v nasprotju z nujnostjo. <Materija> bo tudi negibna, kajti če se nujno giblje v neko določeno stran z neko določeno hitrostjo, se bo po isti nujnosti gibala na drugačno stran z drugačno hitrostjo; v drugačne strani z drugačnimi hitrostmi pa se ne more gibati; torej je nujno negibna. Svet, ki ga odlikuje najlepša raznolikost oblik in gibanj, gotovo nikakor ni mogel nastati, razen iz povsem svobodne volje, ki za vse skrbi in vse usmerja.

Iz tega vira so torej pritekli na dan vsi tisti zakoni, imenovani zakoni narave; in v njih se vsekakor kažejo številne sledi najvišje preudarnosti, a prav nobene sledi nujnosti. Zato jih ne smemo iskati na osnovi negotovih domnev, ampak se jih moramo učiti z opazovanjem in preskušanjem. Kdor verjame, da lahko resnično odkrije principe fizike in zakone stvari opirajoč se zgolj na moč duha in notranjo luč razuma, ta mora ali trditi, da je svet obstajal po nujnosti in da po tej isti nujnosti sledi prej postavljenim zakonom, ali da ima, če je bil red narave vzpostavljen po volji Boga, kljub temu sam, revno človeče kot je, jasno predstavo o tem,

kaj je najbolje storiti. Vsa zdrava in resnična filozofija temelji na pojavih stvari in če nas ti celo proti naši volji in ob upiranju popeljejo do tovrstnih principov, v katerih sta povsem jasno vidna najboljši preudarek in najvišje gospostvo najmodrejšega in najmogočnejšega bitja, se teh principov ne bo smelo zavreči, češ da morebiti nekaterim ljudem ne utegnejo biti povšeči. Ti naj stvari, ki jim niso všeč, imenujejo ali čudeži ali skrite kvalitete, toda zlonamerno nadeta imena se samim stvarjem ne smejo šteti v zlo, razen če hočejo <ti ljudje> priznati, da mora filozofija temeljiti na brezboštvu. Zaradi teh ljudi se filozofije ne sme omajati, kajti red stvari noče, da bi ga spreminjali.

Pošteni in pravični sodniki se bodo torej držali najodličnejšega načina filozofiranja, ki temelji na poskusih in opazovanjih. In le težko bo mogoče povedati, kako zelo to nadvse sijajno delo našega presvetlega pisca osvetljuje ta način filozofiranja in kolikšno veljavo mu daje; izjemno srečnost njegove genialnosti, ki razrešuje sleherne najtežje probleme in ki se dalje dotika tudi tistih stvari, za katere ni bilo upati, da se človeški duh do njih lahko dokoplje, upravičeno občudujejo in spoštujejo vsi, ki se nekoliko bolj spoznajo na te stvari. S tem ko je odrinil zapahe, nam je odprl dostop do najlepših skrivnosti stvari. Naposled je nadvse pretanjeno sestavo svetovnega sistema tako razkril in nam jo dal v natančnejšo strokovno obravnavo, da niti sam kralj Alfonz,<sup>16</sup> če bi oživel, v njej ne bi pogrešal bodisi preprostosti bodisi mikavne ubranosti. In tako je zdaj mogoče поблиže gledati mogočnost narave, uživati v nadvse prijetnem motrenju, Stvarnika in Gospoda vsega pa bolj vneto častiti in mu izkazovati spoštovanje, in to je daleč najplodovitejši sad filozofije. Slep mora biti tisti, ki iz najboljših in najmodrejših sestav stvari ne uvidi takoj neskončne modrosti in dobrote vseмогоčnega Stvarnika; in nor mora biti tisti, ki tega noče priznati.

Newtonovo izjemno delo bo stalo kot nadvse utrjeni branik proti napadom brezbožcev in to delo bo najboljši tulec, iz katerega boš potegnil puščice <za streljanje> proti brezbožni trumi.<sup>17</sup> To je že zdavnaj ugotovil in v nadvse učenih razpravah v angleščini in latinščini prvi odlično predstavil mož, ki slovi kot vsestranski učenjak in je obenem tudi izjemen podpornik lepih umetnosti, Richard

<sup>16</sup> Cotes se sklicuje na kralja Alfonza Kastiljskega, po katerem so se imenovali astronomske »Alfonzinske tabele« (*Tabulae alphonsinae*).

<sup>17</sup> V Angliji je bil eden glavnih ugovorov proti različnim verzijam mehanicistične filozofije, predvsem Descartesovi in Hobbesovi, da vodi v ateizem.

Bentley, veliki okras našega časa in naše akademije, najvrednejši in nadvse brezgrajni profesor na našem kolidžu Trinity. Priznati moram, da sem njegov dolžnik iz več razlogov; temu tudi ti, blagonaklonjeni bralec, s svoje strani ne boš odrekel dolžne zahvale. Ta je namreč, ker je bil dolgo časa zaupni prijatelj <našega> preslavnega pisca (meni namreč, da biti cenjen zaradi tega prijateljstva pri znanstvenikih ni vredno nič manj kot zasloveti z lastnimi spisi, v katerih uživa srenja intelektualcev), poskrbel hkrati za sloves svojega prijatelja in za napredek znanosti. In zato, ker je ostala le še izjemno redka peščica primerkov prve izdaje in jih je bilo mogoče kupiti le za izjemno visoko ceno, je Bentley z vztrajnimi zahtevami svetoval ter malodane z oštevanjem nadvse odličnega moža, ki ga skromnost odlikuje v enaki meri kot najvišja učenost, končno prepričal, da je dovolil, da na svoje stroške in pod svojim pokroviteljstvom objavi to novo izdajo dela, ki je v vseh ozirih na novo izpiljeno in vrh tega obogateno s sijajnimi dodatki, meni pa je zaupal nadvse všečno nalogo, naj poskrbim, da se to zgodi v kolikor je le mogoče izboljšani verziji.

V Cambridgeu,  
12. maja 1713

Roger Cotes, član kolidža Trinity,  
plumijanski profesor astronomije in  
eksperimentalne filozofije

## **DEFINICIJE**

(1726)

### Uredniška opomba

38 Newton v »Definicijah«, s katerimi uvaja *Matematične principe filozofije narave*, pojasnjuje »manj poznane izraze«, v pripadajoči sholiji (običajno je imenovana »Sholija o času in prostoru«) pa obravnava izraze »čas«, »prostor«, »mesto« in »gibanje«, ki so »vsem zelo dobro poznani«. Manj znani izrazi, ki potrebujejo definicijo, so »količina materije«, »količina gibanja«, »notranja sila«, »vtisnjena sila«, »sredotežna sila« in njene tri mere: »absolutna«, »pospeševalna« in »gibalna«. Prvi dve definiciji se oblikovno – najverjetneje namenoma – razlikujeta od preostalih. Kljub temu, da so »čas«, »prostor«, »mesto« in »gibanje« vsem dobro poznani, je treba vzeti v zakup, da so običajnim ljudem ti izrazi poznani samo na podlagi »razmerja do zaznavnih stvari«, ki so vir predsodkov. Da bi jih odpravili, moramo razlikovati med absolutnim in relativnim, resničnim in navideznim ter med matematičnim in običajnim pomenom teh izrazov.

Besedilo v <koničastih oklepajih> je prevajalski dodatek, ki omogoča bolj tekoče branje.



## DEFINICIJA 1

*Količina materije je mera te iste <materije>, ki izvira iz njene gostote<sup>1</sup> in velikosti<sup>2</sup> skupaj.<sup>3</sup>*

Zrak, če je njegova gostota podvojena v prostoru, ki je prav tako podvojen, se početveri; če se prostor potroji, se <zrak> pošesteri. Vedi, da velja enako tudi za sneg in prahe, kadar so zaradi stiskanja ali utekočinjenja zgoščeni.<sup>4</sup> In enako velja za vsa telesa, ki se zaradi katerih koli vzrokov na različne načine zgostijo. Medtem pa na tem mestu prav nič ne upoštevam medija, ki prosto prehaja po vmesnih prostorih<sup>5</sup> med deli <teles>. To količino pa v nadaljevanju na splošno razumem pod izrazoma »telo« ali »masa«.<sup>6</sup> Ta je znana iz teže slehernega telesa, kajti z zelo natančno zastavljenimi poskusi z nihali sem ugotovil, da je sorazmerna s težo, kot bo pokazano v nadaljevanju.<sup>7</sup>

## DEFINICIJA 2

*Količina gibanja je mera tega istega <gibanja>, ki izvira iz hitrosti in količine materije skupaj.<sup>8</sup>*

Gibanje celote je vsota gibanj v posameznih delih in zato je v telesu, ki je dvakrat večje <kot drugo>, in ima enako hitrost, <njegovo gibanje> dvojno in če je hitrost dvojna, je <njegovo gibanje> štirikratno.

<sup>1</sup> Newton v *Matematičnih principih filozofije narave* »gostote« nikjer ne opredeli oz. formalno definira.

<sup>2</sup> Tj. volumna.

<sup>3</sup> Newton je seveda poznal tudi druge mere materije. Za Descartresa je bila to »razsežnost«, tj. prostor, ki ga zavzema materija, za Johannesesa Keplerja »gmota« (*moles*) in za Galilea Galileija »teža«. Newton je do koncepta »količine materije« kot zmnožka volumna in gostote prišel postopoma. V različicah rokopisa *De motu*, iz katerega so nastali *Principi*, »količine materije« ali »mase« ne omenja. Pojem »količina materije« se prvič pojavi v nedokončanem rokopisu *Principov*, ki ga je pisal malo po *De motu*, preden je dokončal prvi popoln osnutek *Principov*, v šesti definiciji, kot »gostota telesa«.

<sup>4</sup> Newton ima tu verjetno v mislih poizkuse Roberta Boyla z zračno črpalko.

<sup>5</sup> Lat. *interstitia*.

<sup>6</sup> »Količina materije« je za Newtona torej sopomenka za »telo« in »maso«. »Masa« (*massa*) je izviren Newtonov pojem.

<sup>7</sup> »Masa« je po Newtonu določljiva samo in zgolj s tehtanjem, se pravi tako, da poiščemo težnostne ali gravitacijske sile. Matematične osnove teh preizkusov pojasnjuje v drugi knjigi *Principov*, propozicija 24, podrobnosti o poizkusih pa v tretji knjigi, propozicija 6.

<sup>8</sup> »Mera gibanja« je torej zmnožek mase in hitrosti. Kadarkoli Newton piše o gibanju, ima v mislih »količino gibanja« in ne zgolj gibanje kot tako. Tako na primer v drugem zakonu gibanja.

## DEFINICIJA 3

*Materiji notranja sila<sup>9</sup> je moč upiranja, s katero sleherni telo, kolikor je v njegovi moči,<sup>10</sup> vztraja v svojem stanju ali mirovanja ali gibanja enakomerno naravnost naprej.*

Ta <silas> je vedno sorazmerna s svojim telesom in se prav nič ne razlikuje od inercije mase, razen v načinu pojmovanja. Po inerciji materije se dogaja, da je vsako telo težko spraviti iz njegovega stanja ali mirovanja ali gibanja. Zato je tudi notranjo silo mogoče imenovati z nadvse pomenljivim imenom: sila inercije.<sup>11</sup> Telo pa izvaja to silo samo pri spremembi svojega stanja, do katere pride zaradi druge sile, ki je vanj vtisnjena. In to izvajanje je, odvisno od zornega kota, in upor in zagon: upor, v kolikor se telo za ohranjanje svojega stanja upira vtisnjeni sili, zagon pa, v kolikor to isto telo s tem, ko stežka popušča sili upirajoče se ovire, skuša spremeniti stanje te ovire. Običajno se upor pripisuje mirujočim <telesom> in zagon gibajočim se <telesom>; toda gibanje in mirovanje, kot se ju običajno pojmuje, se med seboj razlikujeta samo glede na zorni kot, in telesa, na katera se običajno gleda kot na mirujoča, v resnici ne mirujejo vedno.

<sup>9</sup> Newton je v svojem osnutku »Aksiomov in zakonov gibanja« v 12. definiciji pisal o *corporis vis insita innata et essentialis*. Podoba je tudi v pismu Bentleyu, 25. februarja 1692/93 pisal o notranji sili kot o *innate, inherent, and essential*. Izraz *vis insita* je bil v tem obdobju precej razširjen. Henry More je tako v svojem delu *Nesmrtnost duše*, ki ga je Newton pozorno bral, pisal o »innate force or quality (which is called heaviness) implanted in earthly bodies«. V latinski različici se to mesto glasi: »innatam quandam vim vel qualitate (quae gravitas dicitur) corporibus terrestribus insitam«. Podobno je tudi pri nekaterih drugih avtorjih (Johannes Magirus, Johannes Kepler, Goclenius).

<sup>10</sup> Lat. *quantum in se est*; tudi »kolikor je v njem«, »kolikor je odvisno od njega samega«, »kolikor lahko«, »kolikor je odvisno od njega«. Newton tu dobesedno navaja Descartesovo frazo iz prvega zakona narave, *Principi filozofije*, II, 37: »Prvi od teh <zakonov> je, da sleherna stvar, v kolikor je enostavna in nerazdeljena, ostaja, kolikor je v njeni moči, vedno v enakem stanju in da se nikoli ne spremeni, razen zaradi zunanjih vzrokov.« Navedeno po: René Descartes, *Principi filozofije: Drugi del*, prevedel M. Hriberšek, *Filozofski vestnik* 39 (1/2019), str. 59. Pri Newtonu to pomeni, da je »notranja sila« inercije v določenih okoliščinah, denimo ob trku telesa ob drugo telo, pri stiku telesa z drugim telesom ali ko je telo potopljeno v neki medij, omejena.

<sup>11</sup> »Sila inercije« (*vis inertiae*), je torej sopomenka za »notranjo silo« (*vis insita*). Posledično Newton v *Principih* pretežno uporablja izraz »sila inercije« in le redko »notranja sila«. Izraz *inertia* je Newton po vsej verjetnosti povzel iz dopisovanja med Descartesom in Mersennom. Leibniz ga je v *Teodiceji* obtožil, da je koncept inercije ukradel Keplerju. Newton je v svojem izvodu druge izdaje *Principov* tu dodal: »Tu nimam v mislih Keplerjeve sile inercije, s katero telesa stremijo k mirovanju, temveč silo ostajanja v istem stanju mirovanja ali gibanja.«

**DEFINICIJA 4**

*Vtisnjena sila je na telo izvedeno delovanje za spreminjanje njegovega stanja, tj. mirovanja ali gibanja, enakomerno naravnost naprej.*

Ta sila obstaja samo v delovanju in po delovanju ne ostane v telesu. Telo namreč vztraja v vsakem novem stanju samo po sili inercije. Ima pa vtisnjena sila različne vire, kot so udarec, pritisk ali sredotežna sila.

**DEFINICIJA 5**

*Sredotežna sila<sup>12</sup> je <tista sila>, ki telesa od vsepovsod privlači, poganja ali pa <telesa z njo> kakor koli že stremijo k neki točki kakor k središču.<sup>13</sup>*

Tovrstna sila je težkost, s katero telesa stremijo k središču Zemlje, pa magnetna sila, s katero železo išče magnet, in tista sila, katera koli že to je, s katero planete nenehno vleče nazaj od premočrtnih gibanj in jih sili, da potujejo naokrog v ukrivljenih črtah. Kamen, ki ga naokoli vrti prača, si prizadeva oditi iz roke, ki vrti pračo, in s svojim prizadevanjem pračo razteguje, in sicer toliko močneje, kolikor hitreje potuje naokrog, ter odleti, brž ko se ga izpusti. Silo, nasprotno temu prizadevanju, s katerim prača kamen nenehno poteza nazaj v roko in ga zadržuje na orbiti, imenujem sredotežna, saj je usmerjena k roki kot središču orbite. In enako velja za vsa telesa, ki jih žene v krožno gibanje. Vsa ta <telesa> si prizadevajo odmakniti se od središč orbit in če ni prisotna neka sila, nasprotna temu prizadevanju, ki ta telesa zadržuje in drži na orbitah, in ki jo zato imenujem sredotežna, bodo odšla v premih črtah z enakomernim gibanjem. Če bi projektil ostal brez sile težkosti, bi se ne odklonil proti Zemlji, ampak bi v ravni črti odletel v vesolje, in to z enakomernim gibanjem, če bi le odstranili upor zraka. Projektil njegova težkost vleče stran od premočrtne poti in ga nenehno odklanja proti Zemlji, in sicer bolj ali manj, glede na njegovo težkost in hitrost gibanja. Čim manjša bo njegova težkost glede na količino materije oziroma čim večja bo njegova hitrost, s katero je izstreljen, toliko manj bo zavijal stran od premočrtne poti in toliko dlje jo bo nadaljeval. Če bi svinčena krogla, s silo smodnika izstreljena z dano hitrostjo v horizontalni črti z vrha neke gore, v ukrivljeni črti

41

<sup>12</sup> *Vis centripeta* je izraz, ki ga je skoval Newton. Dob. je to »središče iščoča sila«, »proti središču težeča sila«.

<sup>13</sup> Zadnje štiri definicije so povečene sredotežni sili (definicija 5) in njenim meram (definicije 6–8). Te mere Newton na kratko imenuje »absolutna, pospeševalna in gibalna«.

prepotovala razdaljo dveh milj, preden bi padla na Zemljo, bi ta <ista svinčena krogla, izstreljena> z dvojno hitrostjo potovala približno dvakrat dlje in <izstreljena> z desetkratno hitrostjo približno desetkrat dlje, če bi odvzeli upor zraka. In s povečevanjem hitrosti bi se lahko razdalja, na katero se izstreljuje, poljubno povečevala in krivina črte, ki bi jo opisovala, bi se lahko manjšala, tako da bi <krogla> naposled padla na razdaljo deset ali dvajset ali devetdeset stopinj, ali celo, da bi obkrožila celo Zemljo, ali da bi končno odletela v nebo in z gibanjem, s kakršnim je odletela, bi nadaljevala v neskončnost. In iz istega razloga kot se izstreljek s silo težkosti lahko odkloni v orbito in obkroži celo Zemljo, se lahko tudi Luno ali s silo težkosti – če le ima težkost –, ali s katero koli drugo silo, ki jo pritiska proti Zemlji, vedno potegne nazaj od premočrtne poti proti Zemlji in se jo odkloni v njeno orbito; in brez take sile Lune ne bi bilo mogoče zadržati na njeni orbiti. Če bi bila ta sila premajhna, Lune ne bi dovolj odklonila od premočrtne poti; če pa bi bila prevelika, bi jo odklonila preveč in bi jo speljala z orbite proti Zemlji. Zahteva se torej ravno pravšnja velikost <sile> in naloga matematikov je najti tako silo, da se z njo lahko telo natančno obdrži na kateri koli dani orbiti z dano hitrostjo, in po drugi strani najti premočrtno pot, po kateri se telo, ki zapusti kateri koli dano mesto z dano hitrostjo ob dani sili, odkloni. Kvantiteta te sredotežne sile pa je treh rodov: absolutna, pospeševalna in gibalna.

### DEFINICIJA 6

*Absolutna količina sredotežne sile je mera te iste <sile>, ki je večja ali manjša glede na učinkovitost vzroka, ki jo razširja od središča skozi krožno obdajajoče ga predele.*

Tako je na primer magnetna sila glede na gmoto magneta ali intenzivnost moči v enem magnetu večja, v drugem manjša.

42

### DEFINICIJA 7

*Pospeševalna količina sredotežne sile je mera same <te sile>, sorazmerna s hitrostjo, ki jo ustvarja v danem času.*

Tak primer je moč istega magneta, ki je na manjši razdalji večja, na večji razdalji pa manjša. Drugi primer je sila, ki ustvarja težkosti, ki je v dolinah večja, na vrhovih visokih gora manjša, in še manjša (kot bo jasno v nadaljevanju) na večjih razdaljah od Zemljine oble, na enakih razdaljah pa je vsepovsod enaka, zato

ker enako pospešuje vsa padajoča telesa (težka ali lahka, velika ali majhna), če odstranimo upor zraka.

### DEFINICIJA 8

*Gibalna količina sredotežne sile je mera same <te sile>, sorazmerna z gibanjem, ki ga ustvarja v danem času.*

Tak primer je teža, ki je v večjem telesu večja in v manjšem telesu manjša; in v istem telesu je blizu Zemlje večja, na nebu pa manjša. Ta količina je sredotežnost celega telesa ali <njegova> nagnjenost k središču in (da tako rečem) teža. Vedno se jo spozna po sili, ki je njej sami nasprotna in enaka, s katero je mogoče preprečiti padanje telesa.

Te količine sil lahko zavoljo jedrnatosti imenujemo absolutne, pospeševalne in gibalne, in zavoljo razločevanja se lahko nanašajo na telesa, ki iščejo središče, na mesta teles in na središče sil. In sicer: gibalna sila se <lahko nanaša> na telo kakor prizadevanje celote<sup>14</sup> proti središču, sestavljeno iz prizadevanja vseh delov; pospeševalna sila na mesto telesa kakor neka učinkovitost, razpršena od središča po posameznih mestih naokrog, za gibanje teles, ki so na teh <mestih>; absolutna sila pa na središče kakor obdarjeno z nekim vzrokom, brez katerega se gibalne sile ne razširjajo po območjih naokrog, najsi je ta vzrok neko središčno telo (kakršno je magnet v središču magnetne sile ali Zemlja v središču sile, ki ustvarja težkost) ali kak drug vzrok, ki ni očiten. To je zgolj matematični pojem, kajti zdaj ne preudarjam o vzrokih sil in o fizičnih sedežih <sil>.<sup>15</sup>

Pospeševalna sila je torej za gibalno silo kot hitrost za gibanje. Količina gibanja namreč izvira iz hitrosti in iz količine materije skupaj in gibalna sila <izvira> iz pospeševalne sile in iz količine te iste materije skupaj. Vsota delovanj pospeševalne sile na posamezne delce telesa je namreč gibalna sila celotnega <telesa>. Zato je blizu Zemljine površine, kjer je pospeševalna težkost ali sila, ki ustvarja težkost, v vseh telesih ista, gibalna težkost ali teža kot telo; toda če se vzpenja v območja, kjer je pospeševalna težkost manjša, se bo teža enako zmanjšala in bo vedno kot telo in pospeševalna težkost skupaj. Tako bo v predelih, kjer je pospe-

<sup>14</sup> Tj. celotnega telesa.

<sup>15</sup> Bodimo pozorni na to, da Newton, čeprav navaja fizične primer, izrecno poudarja, da te pojme obravnava kot matematik.

ševalna težkost dvakrat manjša, teža telesa dvakrat ali trikrat manjšega telesa štirikrat ali šestkrat manjša.

Dalje v tem istem pomenu imenujem privlačnosti in spodbude pospeševalne in gibalne. Izraze za privlačnost, spodbudo ali katero koli nagnjenost proti središču uporabljam brez razločka in jih medsebojno zamenjujem, saj o teh silah ne razmišljam z vidika fizike, ampak samo z vidika matematike. Zato naj bralec pazi, da ne bi mislil, da s tovrstnimi izrazi kjer koli definiram vrsto ali modus delovanja ali fizični vzrok ali razlog ali pa, da središčem (ki so matematične točke) pripisujem sile v resničnem in fizikalnem pomenu, če bom slučajno rekel, da središča privlačijo ali da imajo središča sile.

### Sholija

Do sem sem sklenil razložiti, v kakšnem pomenu je treba v nadaljevanju razumeti manj poznane izraze. Čas, prostor, mesto in gibanje so vsem zelo dobro poznani. Kljub temu je treba pripomniti, da običajni ljudje te količine pojmujejo zgolj na osnovi razmerja do zaznavnih stvari. Od tod tudi izvirajo nekateri predsodki in za to, da se jih odpravi, je koristno razločevati te iste kvalitete na absolutne in relativne, na resnične in navidezne, na matematične in običajne.

1. Absolutni, resnični in matematični čas teče enakomerno v sebi in po svoji naravi brez razmerja do česar koli zunanjega in se z drugim imenom imenuje trajanje. Relativni, navidezni in običajni <čas> je katera koli zaznavna zunanja mera (natančna ali nenatančna)<sup>16</sup> trajanja na osnovi gibanja, ki jo običajni ljudje uporabljajo namesto resničnega časa, kot so na primer ura, dan, mesec, leto.
2. Absolutni prostor po svoji naravi brez razmerja do česar koli zunanjega ostaja vedno enak<sup>17</sup> in negiben. Relativni <prostor> je katera koli gibljiva mera ali dimenzija tega <absolutnega> prostora, ki jo naši čuti določijo glede na njeno lego do teles, preprosti ljudje pa jo uporabljajo za negibni prostor; taka je na primer dimenzija prostora pod Zemljo, zračnega ali nebesnega prostora, ki je določena glede na njeno lego do Zemlje. Absolutni in relativni pros-

<sup>16</sup> Dob. »natančna ali neenakomerna«, »neenaka«.

<sup>17</sup> Ali: »homogen«; dob. »podoben«.

tor sta ista po vrsti in po velikosti, vendar po številu ne ostaneta vedno ista. Kajti če se na primer Zemlja giblje, bo prostor našega zraka, ki relativno in z ozirom na Zemljo vedno ostaja isti, enkrat en del absolutnega prostora, v katerega prehaja zrak, drugič njegov drugi del, in tako se bo absolutno stalno spreminjal.

3. Mesto je del prostora, ki ga zaseda telo, in je v razmerju do prostora ali absolutno ali relativno. Pravim: del prostora, ne lega telesa ali obdajajoča ga površina. Mesta enakih trdnih teles so vedno enaka, a njihove površine so zaradi nepodobnosti oblik večinoma neenake; lege pa v pravem pomenu besede nimajo kvantitete in niso toliko mesta kot afekcije mest. Gibanje celote je enako vsoti gibanj delov, to je prenos celote z njenega mesta je isti kot vsota prenosov delov z njihovih mest in zato je mesto celote isto kot vsota mest delov in zato je notranje in v celem telesu.
  
4. Absolutno gibanje je prenos telesa z <enega> absolutnega mesta na <drugo> absolutno mesto; relativno gibanje je prenos z <enega> relativnega mesta na <drugo> relativno mesto. Tako je na ladji, ki pluje s polnimi jadri, relativno mesto telesa tisti predel ladje, na katerem se telo nahaja, ali tisti del celotnega votlega ladijskega trupa, ki ga telo napolnjuje in se zato giblje skupaj z ladjo; in relativno mirovanje je ostajanje telesa na tem istem predelu ladje ali delu votlega trupa. A resnično mirovanje je ostajanje telesa v istem delu tistega negibnega prostora, v katerem je sama ladja skupaj s svojim votlim trupom in vso vsebino. In zato: če Zemlja resnično miruje, se bo telo, ki relativno miruje na ladji, resnično in absolutno gibalo s tisto hitrostjo, s katero se giblje ladja na Zemlji. Če pa se tudi Zemlja giblje, bo resnično in absolutno gibanje telesa izviralo deloma iz resničnega gibanja Zemlje v negibnem prostoru, deloma iz relativnega gibanja ladje na Zemlji. In če se tudi telo giblje relativno na ladji, bo njegovo resnično gibanje izviralo deloma iz resničnega gibanja Zemlje v negibnem prostoru, deloma iz relativnih gibanj tako ladje na Zemlji kot tudi telesa na ladji in iz teh relativnih gibanj bo izviralo relativno gibanje telesa na Zemlji. Če bi se na primer tisti del Zemlje, kjer se ladja nahaja, resnično gibal proti vzhodu s hitrostjo 10.010 enot<sup>18</sup> in bi z vetrom v jadrnih ladja plula proti zahodu s hitrostjo deset enot, morjeplovec pa bi se sprehajal po ladji proti vzhodu s hitrostjo ene enote, se bo morjeplovec res-

<sup>18</sup> Dob. »delov«. Enako v nadaljevanju.

nično in absolutno v negibnem prostoru gibal s 10.001 delom hitrosti proti vzhodu in relativno na Zemlji proti zahodu s sedmimi enotami hitrosti.

Absolutni čas se v astronomiji od relativnega razlikuje po izenačitvi običajnega časa. Naravni dnevi, ki jih običajni ljudje jemljejo, kot da so enaki, in jih imajo za mero časa, so namreč neenaki. Astronomi to neenakost popravljajo zato, da na osnovi resničnejšega časa merijo nebesna gibanja. <Čisto> mogoče je, da ni nobenega enakomernega gibanja, s katerim bi se natančno merilo čas. Vsa gibanja lahko pospešujejo ali se upočasnjujejo, toda tek absolutnega časa se ne more spremeniti. Trajanje ali ohranjanje obstoja stvari je enako, najsi so <njihova> gibanja hitra ali počasna ali pa jih sploh ni; zato se trajanje po pravici razlikuje od svojih zaznavnih mer in se iz njih zbira na osnovi astronomske izenačitve. Nujnost <uporabe> te izenačitve pri določanju, <kdaj pride do> pojavov, dokazujejo tako poskus z nihalno uro kot tudi mrki Jupitrovih satelitov.

Kakor je ureditev delov časa nespremenljiva, tako je tudi ureditev delov prostora. Naj se deli prostora gibljejo s svojih mest in gibali se bodo (da tako rečem) iz samih sebe. Časi in prostori so namreč kakor mesta samih sebe in vseh stvari. Vse stvari so umeščene v času glede na red zaporednosti, v prostoru pa glede na red lege. Del bistva prostorov je, da so mesta; in nesmiselno je, da bi se primarna mesta gibala. To so torej absolutna mesta in samo prenosi s teh mest so absolutna gibanja.

Toda ker teh delov prostora ni mogoče videti in ker jih naši čuti ne morejo razlikovati medsebojno, namesto njih uporabljamo zaznavne mere. Vsa mesta namreč opredeljujemo na podlagi položajev in oddaljenosti stvari od nekega telesa, na katerega gledamo kot na negibno, nato pa tudi vsa gibanja presojamo z ozirom na prej omenjena mesta, v kolikor za telesa pojmujeemo, da se prenašajo s teh istih mest. Tako namesto mest in absolutnih gibanj uporabljamo relativna in pri običajnih človeških zadevah je to nadvse primerno; v filozofiji pa je treba abstrahirati od čutov. Lahko se namreč zgodi, da nobeno telo, na katerega se nanašajo mesta in gibanja, v resnici ne miruje.

Absolutno mirovanje in gibanje pa se med seboj razlikujeta po svojih lastnostih, vzrokih in učinkih. Lastnost mirovanja je, da telesa, ki so resnično mirujoča, medsebojno mirujejo. In zato ker je mogoče, da neko telo v območju zvezd stalnic ali še dosti dlje absolutno miruje, iz medsebojnega položaja teles v naših



predelih pa ni mogoče vedeti, ali katero od teh <teles v naših predelih> ohranja dani položaj do tega oddaljenega telesa ali ne, resničnega mirovanja na osnovi medsebojne lege teh <teles v naših predelih> ni mogoče opredeliti.

Lastnost gibanja je, da so deli, ki ohranjajo dane položaje glede na celote, soudeleženi pri gibanjih teh istih celot. Vsi deli teles, krožečih v orbiti, si prizadevajo odmakniti se od osi gibanja in zagon teles, ki se gibljejo <naravnost> naprej, izvira iz združenega zagona posamičnih delcev. Ko se torej gibljejo telesa, ki obdajajo druga <telesa>, se relativno gibljejo tudi tista, ki v obdanih telesih relativno mirujejo. In zato resničnega in absolutnega gibanja ni mogoče definirati kot prenos iz soseščine teles, na katera se gleda kakor na mirujoča. Na zunanja telesa je treba ne le gledati kakor na mirujoča, ampak tudi kakor da resnično mirujejo. Sicer bodo vsa vsebovana telesa poleg prenosa iz soseščine obdajajočih <jih> teles deležna tudi resničnih gibanj obdajajočih <jih> teles; in če se ta prenos odstrani, ne bodo resnično mirovala, ampak se bo nanje samo gledalo kakor na mirujoča. Obdajajoča telesa so namreč do vsebovanih teles <v takem razmerju> kot zunanji del celote <v odnosu> do notranjega dela ali kot lupina <v odnosu> do jedra. Ko pa se giblje lupina, se kakor del celote giblje tudi jedro brez prenosa iz soseščine lupine.

Prejšnji lastnosti sorodna je ta: ko se giblje mesto, se skupaj z njim giblje tisto, kar je vanj umeščeno, in zato je telo, ki se giblje stran od svojega mesta, <ki se giblje>, soudeleženo tudi pri gibanju svojega mesta. Vsa gibanja torej, ki potekajo stran od mest, ki se gibljejo, so samo deli celotnih in absolutnih gibanj in vsako celotno gibanje je sestavljeno iz gibanja telesa s svojega začetnega mesta in gibanja tega mesta stran od svojega mesta in tako naprej, vse dokler se ne pride do negibnega mesta, kakor je bilo v zgoraj omenjenem primeru morjeplovca. Zato je celotna in absolutna gibanja mogoče opredeliti samo na osnovi negibnih mest in ta gibanja sem zgoraj postavil v razmerje z negibnimi mesti, relativna pa v razmerje z gibljivimi mesti. Negibna pa so samo tista mesta, ki od neskončnosti do neskončnosti ohranjajo dane položaje v razmerju eden do drugega; zato vedno ostajajo negibna in tvorijo prostor, ki ga imenujem negibni prostor.

Vzroki, po katerih se resnična in relativna gibanja razlikujejo med seboj, so sile, vtisnjene v telesa za porajanje gibanja. Resnično gibanje se ne poraja in se ne spreminja, razen po silah, ki so vtisnjene v samo gibano telo, relativno gibanje pa se lahko poraja in spreminja brez sil, vtisnjenih v to telo. Zadostuje namreč,

da se sile vtisnejo samo v druga telesa, do katerih je <to telo> v razmerju, pa se z njihovim odmikom spremeni to razmerje, v katerem sestoji relativno mirovanje ali gibanje tega telesa. In znova: resnično gibanje se vedno spreminja pod vplivom sil, vtisnjenih v gibano telo, relativno gibanje pa se pod vplivom teh sil ne spreminja nujno. Če se namreč te iste sile na druga telesa, s katerimi je <dano telo> v razmerju, vtiskujejo tako, da se ohranja relativna lega, se bo ohranjalo tudi razmerje, iz katerega sestoji relativno gibanje. Vsako relativno gibanje se torej lahko spreminja, kadar se ohranja resnično gibanje, in lahko se ohranja, kadar se resnično gibanje spreminja, in zato resnično gibanje sploh ne obstaja v tovrstnih razmerjih.

Učinki, po katerih se absolutna in relativna gibanja razlikujejo med seboj, so sile odmikanja od osi krožnega gibanja. V povsem relativnem krožnem gibanju namreč teh sil sploh ni, v resničnem in absolutnem gibanju pa so večje ali manjše, sorazmerno s količino gibanja. Če vedro visi na zelo dolgi vrvi in se ga nenehno krožno suka, dokler vrv zaradi zvijanja močno ne otrdi, nato pa se ga napolni z vodo, da skupaj z vodo miruje, tedaj pa se zaradi neke nenadne sile začne krožno gibati v nasprotno smer, bo gladina vode, ko se vrv odvija in nekoliko dlje vztraja v tem gibanju, na začetku ravna, kakršna je bila pred gibanjem posode. A potem ko posoda zaradi sile, ki se polagoma vtisne v vodo, povzroči, da tudi voda začne zaznavno krožiti, se bo ta voda polagoma umikala od sredine in se dvigala ob robovih posode, privzemajoč vbočeno obliko (sam sem izvedel tak poizkus), z vedno bolj pospešenim gibanjem pa se bo bolj in bolj dvigovala, dokler ne bo kroženj izvajala v istih časih kot posoda in bo v njej relativno mirovala. To dvigovanje nakazuje na prizadevanje k odmikanju od osi gibanja in na osnovi takega prizadevanja se ugotovi in izmeri resnično in absolutno krožno gibanje vode, ki je tukaj povsem nasprotno <njenemu> relativnemu gibanju. Na začetku, ko je bilo relativno gibanje vode v posodi največje, to gibanje ni spodbujalo nobenega prizadevanja k odmikanju od osi; voda ni iskala <poti> proti obodu z dvigovanjem ob straneh posode, ampak je ostajala ravna in zato se njeno resnično krožno gibanje še ni začelo. Pozneje pa, ko se je relativno gibanje vode zmanjšalo, je njen dvig ob straneh posode nakazoval prizadevanje k odmikanju od osi in to prizadevanje je kazalo, da je resnično krožno gibanje vode vedno naraščalo in da je naposled postalo največje, ko je voda v posodi relativno mirovala. Zato to prizadevanje ni odvisno od prenosa vode z ozirom na obdajajoča telesa in zaradi tega resničnega krožnega gibanja ni mogoče opredeliti s takimi prenosi. Resnično krožno gibanje slehernega

krožečega telesa je edinstveno in odgovarja edinstvenemu prizadevanju kakor <njemu> lastnemu in ustreznemu učinku, relativnih gibanj pa je glede na različna razmerja do zunanjih teles nešteto in kot razmerja so povsem brez resničnih učinkov, razen v kolikor so soudeležena pri tistem resničnem in edinstvenem gibanju. Zato se tudi v sistemu tistih, ki trdijo, da se naše nebo znotraj neba zvezd stalnic giblje krožno in da s seboj nosi premičnice, posamezni deli neba in premičnice, ki sicer na svojih najbližjih nébesih relativno mirujejo, resnično gibljejo. Izmenoma namreč spreminjajo svoje položaje (drugače kot se dogaja pri resnično mirujočih stvareh) in ko jih skupaj z nébesi nosi, so udeležene pri njihovem gibanju in se kot deli krožečih celot skušajo odmakniti od njihovih osi.

Relativne količine torej niso prav tiste količine, katerih imena nosijo, ampak so tiste njihove zaznavne mere teh (resnične ali napačne), ki jih običajni ljudje uporabljajo namesto količin, ki se jih namerava merit. A če je treba pomene besed definirati na osnovi rabe, je pod temi izrazi »čas«, »prostor«, »mesto« in »gibanje« treba v pravem pomenu besed razumeti te zaznavne mere; način govorjenja bo neobičajen in čisto matematičen, če se tukaj razume izmerjene količine. Zato tisti, ki tukaj te besede za izmerjene količine tolmačijo tako, izvajajo nasilje nad Svetim pismom. In nič manj ne skrunijo matematike in filozofije tisti, ki resnične količine mešajo z njihovimi razmerji in z običajnimi merami.

Vsekakor je zelo težko spoznavati resnična gibanja posameznih teles in jih dejansko razločevati od pojavnih, ker deli tistega negibnega prostora, v katerem se telesa resnično gibljejo, ne dosežejo čutov. Kljub temu pa zadeva ni povsem brezupna. Dokaze je mogoče potegniti deloma iz pojavnih gibanj, ki so razlike med resničnimi gibanji, deloma iz sil, ki so vzroki in učinki resničnih gibanj. Če bi na primer dve krogli, na dani razdalji ena od druge vmes povezani z vrvjo, krožili okoli skupnega središča težkosti, bi se za prizadevanja krogel, da se odmakneta od osi gibanja, izvedelo iz napetosti vrvi in na osnovi tega bi bilo mogoče izračunati količino krožnega gibanja. Če bi se nato na drugi strani krogel za povečevanje in upadanje krožnega gibanja hkrati vtiskale katere koli enake sile, bi se za povečanje ali zmanjšanje gibanja izvedelo iz povečane ali zmanjšane napetosti vrvi, in na osnovi tega bi bilo naposled mogoče odkriti, na katerih straneh krogel bi morale biti vtisnjene sile, da bi se gibanje najbolj povečalo, to je zadnji strani ali strani, ki v krožnem gibanju sledita. Ko pa bi se ugotovilo, kateri strani sledita in kateri strani sta nasprotni tem, ki sta spredaj, bi bilo mo-

goče spoznati smer gibanja.<sup>19</sup> Na ta način bi bilo mogoče odkriti tako količino kot smer tega krožnega gibanja v katerem koli neizmernem vakuumu, kjer ne bi obstajalo nič zunanjega in zaznavnega, s čimer bi bilo mogoče primerjati krogli. Če bi v tisti prostor že bila postavljena neka oddaljena telesa, ki bi ohranjala dano medsebojno razdaljo, kakršna so zvezde stalnice v naših predelih neba, bi na osnovi relativnega prenosa krogel med telesi ne bilo mogoče vedeti, ali je gibanje treba pripisati telesom ali kroglam. Toda če bi pregledali vrstico in bi se ugotovilo, da je ta njena napetost tista, ki jo zahteva gibanje krogel, bi bilo mogoče sklepati, da se krogli gibljeta in da <ona> telesa mirujejo, in tedaj bi bilo mogoče naposled na osnovi prenosa krogel med telesi razbrati smer tega gibanja. Kako razbrati resnična gibanja iz njihovih vzrokov, učinkov in pojavnih razlik in nasprotno, kako iz bodisi resničnih bodisi pojavnih gibanj razbrati njihove vzroke in učinke, bo obsežneje pojasnjeno v nadaljevanju. S tem namenom sem namreč napisal naslednjo razpravo.

---

<sup>19</sup> Lat. *determinatio motus*. *Determinatio* je specifičen *terminus technicus*, ki ga je Newton najverjetneje povzel po Descartesu, in pomeni, rečeno grobo, »smer skupaj s silo«. Tu ga prevajamo kot »smer«.

**AKSIOMI**  
**ALI**  
**ZAKONI GIBANJA**  
(1726)

**Uredniška opomba**

Newtonovo izhodišče pri formuliranju »Aksiomov ali zakonov gibanja« so bili Descartesova »pravila ali zakoni narave« iz drugega dela njegovih *Principov filozofije*. Newtonov prvi zakon gibanja povzema Descartesov prvi zakon narave, to je princip inercije ali načelo vztrajanja. Drugi zakon govori o sili in spremembi gibanja (sorazmernost med silo in spremembo gibanja). Tretji govori o enakosti akcije in reakcije, delovanja in povratnega delovanja. Sledi niz šestih korolarjev in sholija, v kateri obravnava nihala, ki se trkajo ali zadevajo drugo ob drugo.

Vse besedilo v [oglatih oklepajih] je uredniško, besedilo v <koničastih oklepajih> pa je prevajalski dodatek, ki omogoča bolj tekoče branje.

### ZAKON 1

*Vsako telo vztraja v svojem stanju mirovanja ali gibanja enakomerno naravnost naprej, razen v kolikor ga nanj vtisnjene sile prisilijo spremeniti svoje stanje.*

Projektili vztrajajo v svojih gibanjih, razen v kolikor jih upočasnjuje upor zraka in jih sila težkosti potiska navzdol. Vrteči se obroč,<sup>1</sup> čigar deli se s tem, ko so tesno povezani, nenehno vlečejo stran od premočrtnih gibanj, se ne neha sukati, razen v kolikor ga upočasnjuje zrak. Večja telesa planetov in kometov pa svoja napredujoča in krožna gibanja, ki potekajo v prostorih z manj upora, ohranjajo dlje.

### ZAKON 2

*Sprememba gibanja je sorazmerna z vtisnjeno gibalno silo in se vrši vzdolž preme črte, po kateri se ta sila vtiskuje.*

Če kaka sila ustvarja kakršno koli gibanje, bo dvakratna sila ustvarjala dvakratno, trikratna pa trikratno, najsi bo vtisnjena vsa hkrati in naenkrat najsi postopoma in zaporedoma. In če se je telo gibalo prej, se to <ново> gibanje (ker <gibanje> vedno poteka v isto smer<sup>2</sup> kot sila, ki ga ustvarja) doda <prvotnemu> gibanju, če poteka v isto smer, ali se mu odvzame, če je nasprotno, ali se mu doda poševno, če je poševno, in se z njim sestavlja glede na smer obeh <gibanj>.

### ZAKON 3

*Delovanju je vedno nasprotno in enako povratno delovanje oziroma delovanji dveh teles vzajemno enega na drugo sta vedno enaki in usmerjeni v nasprotni smeri.*

Kar koli pritiska ali vleče nekaj drugega, je od tega prav toliko pritiskano ali vlečeno. Če nekdo s prstom pritiska na kamen, tudi kamen pritiska na njegov prst. Če konj vleče kamen, privezan na vrv, je tudi konj enako vlečen nazaj (če se lahko tako izrazim) h kamnu, kajti na obeh straneh raztegnjena vrv bo z istim prizadevanjem,<sup>3</sup> da bi se zrahljala, potiskala konja proti kamnu in kamen pro-

<sup>1</sup> Lat. *trochus*.

<sup>2</sup> Lat. *determinatur*. *Determinatio* je specifičen *terminus technicus*, ki ga je Newton najverjetneje povzel po Descartesu, in pomeni, rečeno grobo, »smer skupaj s silo«. Tu ga prevajamo kot »smer«.

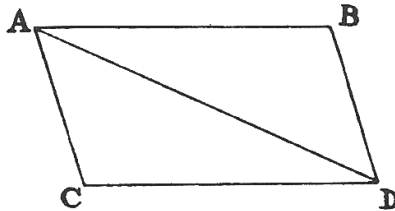
<sup>3</sup> Lat. *conatus*.

ti konju in napredovanje enega bo ovirala toliko, kolikor bo pomagala gibanju naprej drugega. Če bo neko telo, ki trči v drugo telo, njegovo gibanje s svojo silo na kakršen koli način spremenilo, bo to isto telo po drugi stran ob sili drugega telesa (zaradi enakosti vzajemnega pritiska) pri lastnem gibanju doživelo enako spremembo v nasprotno smer. Zaradi teh delovanj prihaja do enakih sprememb ne hitrosti, ampak gibanj, seveda če teles ne ovira kaj drugega.<sup>4</sup> Spremembe hitrosti, do katerih prav tako pride v nasprotni smeri, kajti gibanja se enako spreminjajo, so namreč recipročno sorazmerne s telesi. Ta zakon velja tudi pri privlačnostih, kot bo dokazano v naslednji sholiji.

### KOROLAR 1

*Telo, na katerega delujeta povezano dve sili, zariše diagonalo paralelograma v istem času, v katerem bi zarisalo stranici, če bi sili delovali ločeno.*

Če bi telo v danem času samo sila  $M$ , vtisnjena na mestu  $A$ , nosila z enakomernim gibanjem od  $A$  proti  $B$  in bi ga samo sila  $N$ , vtisnjena na istem mestu, nosila od  $A$  proti  $C$ , naj se dovrši paralelogram  $ABCD$  in ena in druga sila bosta to telo v istem času nosili po diagonali od  $A$  do  $D$ .



Ker namreč sila  $N$  deluje vzdolž črte  $AC$ , ki je vzporedna z  $BD$ , ta sila po zakonu 2 ne bo prav nič spremenila hitrosti približevanja črti  $BD$ , ki jo je ustvarila druga sila. Telo bo doseglo črto  $BD$  v istem času, najsi se sila  $N$  vtisne ali ne, in zato ga bomo na koncu tega časa našli nekje na črti  $BD$ . Z isto utemeljitvijo ga bomo na koncu istega časa našli nekje na črti  $CD$  in zato je nujno, da se ga najde na stičišču  $D$  ene in druge črte. Nadaljevalo pa bo z <enakomernim> premočrtnim gibanjem od  $A$  proti  $D$  po zakonu 1.

<sup>4</sup> »Telesa« za Newtona pomenijo količino materije (gl. definicija 1), »gibanje« pa količina gibanja (gl. definicija 2) ali moment.





kotno na horizont, druga pa na ravnino  $pG$ , in če silo teže  $p$ , ki teži navzdol, predstavlja črta  $pH$ , se ta lahko razkroji na sili  $pN$  in  $HN$ . Če bi bila neka ravnina  $pQ$  pravokotna na vrvi  $pN$  in bi sekala drugo ravnino  $pG$  v črti, ki je vzporedna s horizontom, in teža  $p$  bi se samo naslanjala na ti ravnini  $pQ$  in  $pG$ , bi tista teža  $p$  pritiskala na ti ravnini s silama  $pN$  in  $HN$ , namreč na ravnino  $pQ$  s silo  $pN$  in na ravnino  $pG$  s silo  $HN$ . In tako, če se odstrani ravnina  $pQ$ , da teža napenja vrvi, se bo, kajti vrvi s podpiranjem teže že nastopa kot nadomestilo za odstranjeno ravnino, tista vrvi napenjajo s silo  $pN$ , s katero se je prej pritiskalo na ravnino. Zato bo napetost te poševne vrvi v razmerju do napetosti druge, pravokotne vrvi  $PN$  kot  $pN$  v razmerju do  $pH$ . In zato: če je teža  $p$  do teže  $A$  v razmerju, ki je sestavljeno iz recipročnega razmerja najmanjših razdalj svojih vrvi  $pN$  in  $AM$  od središča kroga, in direktnega razmerja  $pH$  do  $pN$ , bosta teži imeli enako moč za gibanje kolesa in zato se bosta vzajemno podpirali, kot lahko vsakdo preizkusi.

Teža  $p$  pa, ki leži na tistih dveh poševnih ravninah, bo imela vlogo klina med notranjimi površinami razcepljenega telesa in od tod je mogoče ugotoviti sile klina in kladiva, kajti sila, s katero teža  $p$  pritiska ravnino  $pQ$ , je v odnosu do sile, s katero ta ista <teža>  $p$  ali s svojo težkostjo ali z udarcem kladiva vtisnjena vzdolž črte  $pH$  na ravnini, kot  $pN$  do  $pH$ , in do sile, s katero pritiska na drugo ravnino  $pG$  kot  $pN$  do  $NH$ . Toda tudi silo vijaka je moč razbrati na osnovi podobne delitve sil, kajti na klin pritiska vzvod. Ta korolar se torej lahko uporablja zelo široko in ta široka uporaba kaže njeno resničnost, ker je celotna mehanika odvisna od povedanega, kar so pisci dokazali na različne načine. Iz povedanega je namreč mogoče zlahka izpeljevati sile strojev, ki so navadno sestavljeni iz koles, bobnov, škripcev, vzvodov, napetih žic in uteži, ki se dvigujejo direktno ali poševno, in drugih mehaničnih moči, kot tudi sile kit za premikanje kosti živali.

### KOROLAR 3

*Količine gibanja, ki se jo razbere z zajemanjem vsote gibanj, opravljenih v eno smer, in razlike gibanj, opravljenih v nasprotno smer, medsebojno delovanje teles ne spreminja.*

Kajti delovanje in njemu nasprotujoče nasprotno delovanje sta enaka po zakonu 3, in zato po zakonu 2 ustvarjata enake spremembe v gibanjih v nasprotni smeri. Če torej gibanja potekajo v isto smer, se bo, kar koli se doda gibanju bežečega telesa, odvezelo gibanju zasledujočega telesa tako, da vsota ostane enaka kot prej.

Če pa si telesi gresta nasproti, bo odvzetje od gibanja enega ali drugega enako in zato bo razlika med opravljenima gibanjema v nasprotni smeri ostala enaka. Če je na primer kroglasto telo *A* trikrat večje od kroglastega telesa *B* in ima dva dela hitrosti, in če *B* sledi *A* v isti ravni črti z desetimi deli hitrosti, potem je gibanje *A* <v razmerju> do gibanja *B* kot šest do deset. Naj se postavi, da sta njuni gibanji šest delov in deset delov in vsota bo šestnajst delov. Ob trku teles torej, če bo telo *A* pridobilo tri ali štiri ali pet delov gibanja, jih bo telo *B* izgubilo prav toliko in zato bo telo *A* po odboju nadaljevalo <gibanje> z devetimi ali desetimi ali enajstimi deli, telo *B* pa s sedmimi ali šestimi ali petimi deli, kajti vsota delov vedno ostaja enaka kot prej: šestnajst. Če bo torej telo *A* pridobilo devet ali deset ali enajst ali dvanajst delov in bo zato po trčenju napredovalo s petnajstimi ali šestnajstimi ali sedemnajstimi ali osemnajstimi deli, bo telo *B*, s tem ko bo izgubilo toliko delov, kolikor jih *A* pridobi, ali nadaljevalo z enim delom, ker bo izgubilo devet delov, ali bo mirovalo, ker bo izgubilo svoje gibanje naprej z devetimi deli, ali pa se bo z enim delom gibalo nazaj, saj bo izgubilo svoje gibanje in (da tako rečem) še en del več, ali pa se bo vrnilo nazaj z dvema deloma, ker je bilo odvzetih dvanajst delov gibanja naprej. In tako bosta vsoti istosmernih gibanj  $15+1$  ali  $16+0$  in razliki  $17-1$  in  $18-2$  nasprotnih gibanj vedno šestnajst delov, tako kot pred trkom in odbojem. Toda ker sta znani gibanji, s katerimi bosta telesi po odboju nadaljevali pot, se bo ugotovilo tudi hitrost enega in drugega, če predpostavimo, da je ta <v takem razmerju> do hitrosti pred odbojem, kot je gibanje pozneje <v sorazmerju> do gibanja prej. Kot na primer v zadnjem primeru, kjer je bilo gibanje telesa *A* šest delov pred odbojem in osemnajst delov po njem in je bila njegova hitrost pred odbojem dva dela, se bo ugotovilo, da je njegova hitrost šest delov po odboju, če rečemo: kakor je gibanje šest delov pred odbojem <v razmerju> do gibanja osemnajst delov po njem, v takem sta dva dela hitrosti pred odbojem do hitrosti šest delov pozneje.

Če pa telesi, ki ali nista okrogli ali se gibljeta v različnih ravnih črtah, vzajemno poševno zadevata eno v drugo in se iščeta njuni gibanji po odboju, in je treba ugotoviti lego ravnine, ki se je dotikata trkajoči telesi v točki trka, je treba gibanje enega in drugega telesa (po korolarju 2) razločiti na dve <gibanji>, eno pravokotno na to ravnino, drugo pa vzporedno z njo. Ker telesi delujeta vzajemno eno na drugo vzdolž ravne črte, ki je pravokotna na to ravnino, je treba vzporedni gibanji zadržati enaki po odboju in pred njim; in pravokotnim gibanjem je treba pripisati enake spremembe v nasprotni smeri tako, da vsota istosmernih gibanj in razlika nasprotnih gibanj ostaja enaka kot prej <preden sta trčila>. Iz tovrstnih

odbojev navadno izvirajo tudi krožna gibanja teles okoli lastnih središč. Toda o takšnih primerih v nadaljevanju ne razmišljam in predolgo bi bilo dokazovati vse, kar je povezano s tem.

#### KOROLAR 4

*Skupno središče težkosti dveh ali več teles ne spreminja svojega stanja bodisi gibanja bodisi mirovanja, <ki izhaja> iz medsebojnega delovanj teles in zato skupno središče težkosti vseh teles, ki vzajemno delujejo ena na drugo (če izključimo zunanja delovanja in ovire) ali miruje ali se giblje enakomerno naravnost naprej.*

Če se namreč dve točki gibljeta naprej z enakomernim gibanjem v ravnih črtah in se razdalji med njima delita v danem razmerju, točka, ki deli, ali miruje ali se giblje naprej enakomerno v ravni črti. To je dokazano v nadaljevanju v lemi 23 in njenemu korolarju <za primer>, če gibanji točk potekata na isti ravnini; in z isto utemeljitvijo je to mogoče dokazati, če ti gibanji ne potekata na isti ravnini. Če se torej telesa, kolikor koli jih že je, gibljejo enakomerno v ravnih črtah, skupno središče težkosti katerih koli dveh teles ali miruje ali se giblje naprej enakomerno v ravni črti, zato ker je črta, ki povezuje središča teh, enakomerno v ravnih črtah naprej gibajočih se teles, razdeljena s tem skupnim središčem v danem razmerju. Podobno tudi skupno središče teh dveh <teles> in katerega koli tretjega ali miruje ali se enakomerno v ravni črti giblje naprej, zato ker skupno središče <vseh treh teles> deli razdaljo med skupnim središčem dveh teles in središčem tretjega telesa v danem razmerju. Na enak način tudi skupno središče teh treh <teles> in katerega koli četrtega ali miruje ali se giblje naprej enakomerno v ravni črti, zato ker <to skupno središče štirih teles> v danem razmerju deli razdaljo med skupnim središčem treh <teles> in središčem četrtega; in tako v neskončnost. V sistemu teles torej, ki so povsem brez medsebojnih delovanj eno na drugo, pa tudi brez vseh drugih, od zunaj vtisnjenih delovanj na njih, in se zato vsa posamezna <telesa> gibljejo enakomerno v posameznih ravnih črtah, skupno središče težkosti vseh ali miruje ali se giblje enakomerno naravnost naprej.

58

Dalje: ker sta v sistemu dveh teles, ki vzajemno delujeta eno na drugo, razdalji med središčema enega in drugega od skupnega središča obratno sorazmerni s telesoma, bosta relativni gibanji teh istih teles, bodisi približevanja k temu središču bodisi oddaljevanja od njega, enaki. Skladno s tem – kot rezultat enakih sprememb, do katerih prihaja v nasprotni smeri teh gibanj, in posledično

kot rezultat delovanj teh teles med seboj – to središče ne pospešuje in ne upočasnjuje in v svojem stanju ne doživlja nobene spremembe, kar zadeva gibanje ali mirovanje. Ker pa v sistemu več teles skupno središče težkosti dveh katerih koli teles, ki vzajemno delujeta eno na drugo, zaradi tega delovanja na noben način ne spreminja svojega položaja in ker skupno središče ostalih <teles>, s katerimi tisto delovanje ni v nobeni povezavi, ni pod nobenim vplivom tega delovanja, razdaljo med tema dvema središčema pa skupno središče vseh teles deli na dele, ki so recipročno sorazmerni s skupnimi vsotami teles, katerih središča so, in ker zato, ker tisti dve središči ohranjata svoje stanje gibanja ali mirovanja, skupno središče vseh tudi ohranja svoje stanje, je <na osnovi vsega tega> očitno, da tisto skupno središče vseh zaradi delovanja dveh teles med seboj nikoli ne spremeni svojega stanja, kar zadeva gibanje in mirovanje. V takem sistemu pa vsa delovanja teles med seboj potekajo ali med dvema telesoma ali pa so sestavljena iz delovanj med dvema telesoma in zato nikoli ne povzročijo spremembe skupnega središča vseh v stanju njegovega gibanja ali mirovanja. In zato, ker to središče, ko telesa ne delujejo vzajemno eno na drugo, ali miruje ali se v neki ravni črti giblje enakomerno naprej, bo to isto <središče>, ker tega ne preprečujejo delovanja teles med seboj, ali še naprej vedno mirovalo ali se bo vedno gibalo naprej enakomerno naravnost, razen če ga bodo iz tega stanja pregnale sile, vtisnjene na sistem od zunaj. Za sistem več teles torej velja isti zakon kot za sistem enega telesa, kar zadeva vztrajanje v stanju gibanja ali mirovanja. Progressivno gibanje ali enega samega telesa ali sistema teles je namreč treba vedno računati iz gibanja središča težkosti.

## KOROLAR 5

*Kadar so telesa zaprta v danem prostoru, so njihova gibanja med seboj enaka, najsi ta prostor miruje najsi se giblje enakomerno naravnost naprej brez krožnega gibanja.*

59

Razlike gibanj, ki stremijo v isto smer, in vsote gibanj, ki so usmerjena v nasprotni smeri, so enake na začetku v obeh primerih (po hipotezi) in iz teh vsot ali razlik izvirajo trki in naleti,<sup>6</sup> s katerimi telesa vzajemno udarjajo eno ob drugo. Po zakonu 2 so torej učinki trkov v obeh primerih enaki in zato bodo medsebojna gibanja v enem primeru enaka kot medsebojna gibanja v drugem primeru. Isto

<sup>6</sup> Lat. *congressus et impetus*.

dokazuje nazorno izkustvo<sup>7</sup>. Vsa gibanja na ladji so v enakem medsebojnem odnosu, pa najsi ladja miruje ali pa se giblje enakomerno naravnost.

### KOROLAR 6

*Če se telesa v medsebojnem razmerju gibljejo kakor koli že in jih enake pospeševalne sile pritiskajo vzdolž vzporednih črt, se bodo vsa telesa v medsebojnem razmerju še naprej gibala na enak način, kot če bi jih ne spodbujale tiste sile.*

Kajti tiste sile s tem, ko delujejo enako (v razmerju do količin teles, ki naj bodo gibana) in vzdolž vzporednih črt, bodo po zakonu 2 gibale vsa telesa enako (kar zadeva hitrost) in zato nikoli ne bodo spremenila njihovih položajev in gibanj, kar zadeva njihova medsebojna razmerja.

### Sholija

Doslej sem navajal principe, ki so jih sprejeli matematiki in potrdili številni poskusi.<sup>8</sup> S pomočjo prvih dveh zakonov in prvih dveh korolarjev je *Galileo* odkril, da je pad težkih teles v kvadratnem razmerju časa in da gibanje projektilov<sup>9</sup> poteka v paraboli; to potrjuje tudi poskus, razen v kolikor ta gibanja nekoliko upočasnjuje upor zraka. Ko telo pada, enakomerna težkost s tem, da enako deluje v posameznih enakih delcih časa, vtisne enake sile na to telo in ustvarja enake hitrosti; in v celotnem času vtisne celotno silo in ustvari celotno hitrost, ki je sorazmerna s časom. Tudi prostori, opisani s sorazmernimi časi, so kot hitrosti in časi skupaj, to je v kvadratnem razmerju časov. In ko je telo izstreljeno navzgor, enakomerna težkost vtisuje sile in odvzema hitrosti, sorazmerne s časi; in časi dviganja do največjih višin so kot hitrosti, ki naj bodo odvzete, in tiste višine so kot hitrosti in časi skupaj, oziroma v kvadratnem razmerju hitrosti. In gibanje telesa, izstreljenega vzdolž katere koli ravne črte, ki izvira iz izstrelitve, je združeno z gibanjem, ki izvira iz težkosti.

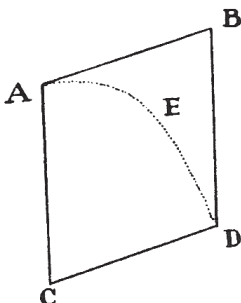
60

<sup>7</sup> Lat. *experimento*.

<sup>8</sup> Lat. *experientia*; tudi: izkustva.

<sup>9</sup> Tj. izstrelkov in vrženih ali zagnanih teles.

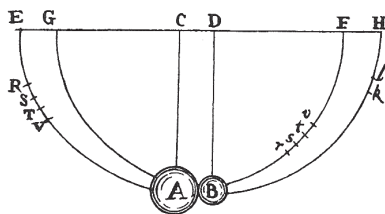
Če bi na primer telo  $A$  samo z gibanjem izstrelitve v danem času lahko zarisalo ravno črto  $AB$  in bi samo z gibanjem padanja lahko v istem času zarisalo višino  $AC$ ,



bi se dopolnil paralelogram  $ABCD$  in to telo bomo ob sestavljenem gibanju na koncu časa našli na mestu  $D$  in ukrivljena črta  $AED$ , ki jo bo zarisalo tisto telo, bo parabola, ki se jo ravna črta  $AB$  dotika v  $A$  in katere ordinata  $BD$  je kot  $AB$ .

Od teh istih zakonov in korolarjev je odvisno tudi tisto, kar je bilo dokazano glede časov nihajočih nihali, to pa podpira tudi vsakdanja izkušnja z urami. Na podlagi teh istih <zakonov in korolarjev> ter tretjega zakona so zlati vitez sir *Christopher Wren*, doktor svete teologije *John Wallis* in *Christiaan Huygens*, nedvomno največji strokovnjaki za geometrijo prejšnje generacije, povsem neodvisno odkrili pravila za trke in odboje trdih teles in skorajda istočasno z njimi seznanili Kraljevo družbo, in kar zadeva te zakone, so povsem enotni; najprej je odkritje sicer objavil *Wallis*, nato pa sta ga še *Wren* in *Huygens*. Toda resničnost teh je *Wren* dokazal pred Kraljevo družbo s poskusom z nihali, in *prejasni Mariotte* je kmalu zatem imel za vredno, da predstavitvi tega posveti celo knjigo.

Toda, da se bo ta poskus do pičice skladal s teorijami, je treba upoštevati tako upor zraka kot tudi elastično silo skupaj trkajočih se teles. Naj bosta kroglasti telesi  $A$  in  $B$  na enakih vzporednih vrveh  $AC$  in  $BD$  obešeni iz središč  $C$  in  $D$ .



S tema središčema in razdaljama naj se zarišeta polkroga  $EAF$  in  $GBH$ , ki ji presekata polmera  $CA$  in  $DB$ . Naj se telo  $A$  potegne h kateri koli točki loka  $EAF$  in (ob tem, da se odstrani telo  $B$ ), naj se ga od tam spusti in naj se po enem nihaju vrne v točko  $V$ .  $RV$  je upočasnitev zaradi upora zraka. Naj bo  $ST$  četrtnina tega  $RV$  in naj leži na sredini, in sicer tako, da sta  $RS$  in  $TV$  enaka in naj bo  $RS$  <v razmerju> do  $ST$  kot 3 do 2. In ta  $ST$  bo kar najbližje pokazal upočasnitev ob spustu iz  $S$  proti  $A$ . Naj se telo  $B$  znova postavi na svoje <izhodiščno> mesto. Naj telo  $A$  pada iz točke  $S$  in njegova hitrost bo na mestu odboja  $A$  brez zaznavne napake tolikšna, kot če bi padlo v vakuumu z mesta  $T$ . Naj torej to hitrost prikazuje tetiva loka  $TA$ . Geometri namreč zelo dobro poznajo propozicijo, da je hitrost nihala v najnižji točki kot struna loka, ki jo zariše s padanjem. Po odboju naj telo  $A$  pride na mesto  $s$  in telo  $B$  na mesto  $k$ . Telo  $B$  naj se odstrani in naj se poišče mesto  $v$ , ki je tako, da če se iz njega spusti telo  $A$  in se po enem nihaju vrne na mesto  $r$ , bo  $st$  četrtnina samega  $rv$ , ležeča na sredini, in sicer tako, da sta  $rs$  in  $tv$  enaka; in struna loka  $tA$  naj prikazuje hitrost, ki jo je telo  $A$  imelo na mestu  $A$  neposredno po odboju. Kajti  $t$  bo tisto resnično in pravilno mesto, do katerega bi se telo  $A$ , če se odstrani upor zraka, moralo dvigniti. S podobno metodo bo treba popraviti mesto  $k$ , do katerega se dvigne telo  $B$ , in treba bo poiskati kraj  $l$ , do katerega bi se moralo to telo dvigniti v vakuumu. Na ta način je mogoče opravljati vse poskuse, kakor če bi bili postavljeni v vakuum. Naposled bo treba telo  $A$  množiti (da tako rečem) s tetivo loka  $TA$ , ki kaže njegovo hitrost, da se dobi njegovo gibanje na mestu  $A$  neposredno pred odbojem, nato pa še s tetivo loka  $tA$ , da se dobi njegovo gibanje na mestu  $A$  neposredno po odboju. In tako bo treba telo  $B$  množiti s struno loka  $Bl$ , da se dobi njegovo gibanje neposredno po odboju. In kadar se dve telesi hkrati izpustita z različnih mest, je treba s podobno metodo odkriti gibanji enega in drugega tako prej kot tudi po odboju in naposled je treba gibanji primerjati med seboj ter določiti učinke odboja.

62

Če se na ta način naredi poskus z nihali, dolgimi deset čevljev, in to tako pri neenakih kot tudi enakih telesih, in če se poskrbi, da telesi trčita skupaj v zelo velikih razmikih, recimo osem ali dvanajst ali šestnajst čevljev, sem, ob napaki manj kot tri prste, vedno odkril, da kadar so se telesa vzajemno zadevala direktno, so spremembe gibanj, vnesene v telesa v nasprotni smeri, enake in da sta zato delovanje in povratno delovanje vedno enaki. Če je na primer telo  $A$  trčilo ob telo  $B$ , ki je mirovalo, z devetimi deli gibanja in je potem, ko je izgubilo sedem delov, po odboju nadaljevalo gibanje z dvema deloma, je telo  $B$  odbilo s tistimi sedmimi deli. Če sta si telesi šli nasproti,  $A$  z dvanajstimi deli in  $B$  s šestimi ter



se je  $A$  vračalo z dvema, se je  $B$  vračalo z osmimi, saj je bilo enemu in drugemu odvzetih štirinajst delov. Od gibanja samega <telesa>  $A$  naj se odvzame dvanajst delov in ostalo ne bo nič; naj se odvzameta druga dva dela in nastalo bo gibanje dveh delov v nasprotno smer; in če se tako od gibanja telesa  $B$  s šestimi deli odvzame štirinajst delov, bo nastalo osem delov v nasprotno smer. Toda če sta telesi šli v isto smer, telo  $A$  hitreje s štirinajstimi deli in telo  $B$  počasneje s petimi deli ter je po odboju telo  $A$  nadaljevalo <gibanje> s petimi deli, je telo  $B$  <gibanje> nadaljevalo s štirinajstimi, ker je prišlo do prenosa devetih delov z  $A$  na  $B$ . In tako tudi v ostalih primerih. Srečanje in trk teles nikoli nista spreminjala količine gibanja, ki se jo je določilo na osnovi vsote gibanj v isto smer in odvzema nasprotnih gibanj. Napako en prst ali dva pri merjenju bi namreč pripisal dejstvu, da je težko vsako posamezno stvar natančno izvesti. Težko je bilo tako nihalo spuščati istočasno tako, da sta telesi vzajemno zadeli eno ob drugo na najnižjem kraju  $AB$ , pa tudi zaznamovati mesti  $s$  in  $k$ , do katerih sta se telesi dvignili po trku. A tudi neenaka gostota delov pri samih visečih telesih in iz drugih vzrokov neenaka tekstura sta povzročali napake.

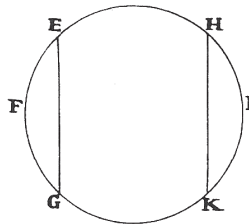
Dalje: da ne bi kdo ugovarjal, da pravilo, za dokazovanje katerega je bil iznajden ta poskus, predpostavlja, da so telesa ali absolutno trda ali vsaj popolno elastična, kakršnih se v naravi sploh ne najde, dodajam, da se pravkar opisani poskusi pri mehkih telesih izidejo enako uspešno kot pri trdih, kajti v nobenem primeru niso odvisni od pogoja trdosti. Kajti če je to pravilo treba preizkusiti na ne popolno trdih telesih, se bo moral samo zmanjšati odboj v gotovem sorazmerju do količine elastične sile. Pri Wrenovi in Huygensovi teoriji se absolutno trda telesa odbijajo eno od drugega s hitrostjo, s katero so trčila. Bolj gotovo bo to potrjeno za popolno elastična telesa. Pri nepopolno elastičnih telesih se mora hitrost odboja zmanjšati skupaj z elastično silo, zato ker je tista sila (razen kadar se deli teles ob trku poškodujejo ali doživijo nekakšno raztezanje, kakor bi nanje udarili s kladivom) gotova in določena (po mojem mnenju) in naredi, da se telesa odbijajo eno od drugega z relativno hitrostjo, ki je v danem razmerju z relativno hitrostjo trka.

To sem preizkusil na žogah iz gosto zvite in močno stisnjene volne. Najprej sem s spuščanjem nihala in merjenjem odboja ugotovil količino elastične sile; nato sem na osnovi te sile določil odboje v drugih primerih trkov in preizkusi so dajali izračunom ustrezne rezultate. Žoge so se vedno odbijale ena od druge z relativno hitrostjo, ki je bila <v razmerju> do trkov kot 5 do 9. S skoraj enako hitrostjo so

se odbijale žoge iz jekla, tiste iz plutovine z malo manjšo, pri steklenih pa je bilo sorazmerje okoli 15 do 16. In na ta način je tretji zakon, kar zadeva trke in odboje, po <tej> teoriji dokazan in to je povsem skladno s poskusi.

Na primeru privlačnosti zadevo<sup>10</sup> na kratko pokažem takole. Pojmuj, da je vmes med katerima koli dvema telesoma  $A$  in  $B$ , ki se medsebojno privlačita, postavljena kakršna koli že ovira, ki preprečuje njuno srečanje. Če eno telo  $A$  bolj vleče proti drugemu telesu  $B$ , kot tisto drugo telo  $B$  vleče k prvemu telesu  $A$ , bo ovira bolj pod pritiskom telesa  $A$  kot pod pritiskom telesa  $B$  in zato ne bo ostala v ravnovesju. Prevladal bo močnejši pritisk in povzročil, da se bo sistem dveh teles in ovire gibal naravnost v smeri proti  $B$  in v praznih prostorih bo z vedno pospešenim gibanjem odšel v neskončnost. To pa je nesmiselno in v nasprotju s prvim zakonom <gibanja>. Po prvem zakonu bo namreč moral sistem vztrajati v svojem stanju mirovanja ali gibanja enakomerno naravnost in potemtakem bosta telesi enako pritiskali na oviro in zato se bosta vzajemno enako vlekli. To sem preizkusil tudi z magnetom in železom. Če bi ta dva ločeno postavili vsakega v svojo posodo, ki bi se dotikali in bi plavali na mirni vodi ena ob drugi, ne bo nobena druge potiskala naprej, ampak bosta zaradi enakosti privlačnosti z obeh strani podpirala svoja vzajemna prizadevanja in ko bosta naposled postavljena v ravnovesje, bosta mirovala.

Tako je vzajemna tudi težkost med Zemljo in njenimi deli. Naj Zemljo  $FI$  seka katera koli ravnina  $EG$  in dva dela, na  $EGF$  in  $EGI$ , in teže teh vzajemno enega na drugega bodo enake.



Če se namreč drugi ravnini  $HK$ , ki je vzporedna na prvo ravnino  $EG$ , večji del  $EGI$  razreže na dva dela  $EGKH$  in  $HKI$ , od katerih je  $HKI$  enak prej odrezanemu delu  $EFG$ , je razvidno, da se srednji del  $EGKH$  zaradi lastne teže ne bo prevesil

<sup>10</sup> Tj. tretji zakon.

v nobenega od skrajnih delov, ampak da bo med obema, da tako rečem, visel v ravnovesju in miroval. Skrajni del *HKI* pa bo z vso svojo težo pritiskal na srednji del in ga bo silil v drugi skrajni del *EGF*; zato je sila, s katero *EGI*, ki je vsota delov *HKI* in *EGKH*, stremi proti tretjemu delu *EGF*, enaka teži dela *HKI*, to je teži tretjega dela *EGF*. In zato sta teži dveh delov *EGI* in *EGF* vzajemno ena proti drugi enaki, kot sem hotel pokazati. In če ti teži ne bi bili enaki, bi se celotna Zemlja, ki plava v prostem etru,<sup>11</sup> uklonila pred večjo težo in bi z umikanjem od te odhajala v neskončnost.

Kakor imajo pri trkih in odbojih isto moč telesa, katerih hitrosti so obratno sorazmerne z njim vsajenimi silami,<sup>12</sup> tako imajo pri gibanjih mehaničnih naprav gibala, katerih hitrosti, izračunane glede na smer sil, so obratno sorazmerne z njim vsajenimi silami, isto moč in se z nasprotnimi prizadevanji medsebojno podpirajo. Tako imata enako moč pri premikanju krakov tehtnice teži, ki sta ob nihanju tehtnice obratno sorazmerni z njunima hitrostma navzgor in navzdol. To je: teži, če se dvigata in spuščata naravnost, imata enako moč, če sta obratno sorazmerni z razdaljama med osjo tehtnice in točkama, na katerih sta obešeni; če pa ju ovirajo kake poševne ravnine ali če se doda kake druge ovire, se dvigata ali spuščata poševno, imata enako moč, če sta obratno sorazmerni z dvigi in spusti, v kolikor ti potekajo vzdolž navpičnice, in tako je zaradi smeri težkosti navzdol. Podobno bo pri škripcu ali škripčevju težo držala sila roke, ki vleče vrv naravnost in je <v razmerju> do teže, ki se dviga naravnost ali poševno, kot hitrost pravokotnega dviga <v razmerju> do hitrosti roke, ki vleče vrv. V urah in podobnih napravah, ki so sestavljene iz združenih kolesc, se bodo nasprotne sile za pospeševanje in zaviranje gibanja kolesc medsebojno podpirale, če so obratno sorazmerne z hitrostmi delov kolesc, v katere se vtiskujejo. Sila vijaka za pritiskanje na telo je <v razmerju> do sile, ki vrti ročaj, kot krožna hitrost ročaja v tistem delu, kjer ga potiska roka, <v razmerju> do progresivne hitrosti vijaka proti pritisnjenemu telesu. Sili, s katerima klin pritiska na dva dela razcepljenega lesa, sta <v razmerju> do sile kladiva na klin kot napredovanje klina v smeri sile, ki jo na sam klin vtisne kladivo, <v razmerju> do hitrosti, s katero se deli lesa umikajo klinu vzdolž črt, ki so pravokotne na površine klina. In enako velja za vse naprave.

<sup>11</sup> Tj. v etru, v katerem ni upora.

<sup>12</sup> Tj. sile inercije.

Učinkovitost in raba <vseh> teh <naprav> obstaja samo v tem, da z zmanjševanjem hitrosti povečujemo silo in nasprotno; s tem se razreši problem pri sleherni uporabni napravi: *gibati dano težo z dano silo* ali premagati nek dani upor z dano silo. Če so namreč naprave zgrajene tako, da sta hitrosti dejavnika in upirajočega se telesa obratno sorazmerne s silama, bo dejavnik prenašal upor, če pa je med hitrostima večja neenakost, ga bo premagal. Gotovo: če je neenakost med hitrostima tolikšna, da bo premagan tudi ves upor, ki navadno izvira tako iz trenja dotikajočih se in med seboj drsečih teles, kot tudi iz povezanosti nadaljujočih se teles, ki se morajo ločevati eno od drugega, in iz tež teles, ki se morajo dvigati, in če se premaga ves upor, bo preostala sila ustvarjala sebi sorazmerno pospeševanje gibanja deloma v delih naprave, deloma v upirajočem se telesu.

Sicer pa ni moj namen tukaj, da bi obravnaval mehaniko. S tem sem hotel samo pokazati, kako široko sega in kako zanesljiv je tretji zakon gibanja. Če se namreč delovanje dejavnika računa iz njegove sile in hitrosti združeno in če se povratno delovanje upirajočega se telesa podobno računa združeno iz hitrosti njegovih posameznih delov in sil upiranja, ki izvirajo iz njihovega trenja, povezanosti, teže in pospeševanja, bosta delovanje in povratno delovanje med seboj vedno enaka pri sleherni uporabi naprav. In v kolikor se delovanje širi po napravi in se končno vtisne v vsako upirajoče se telo, bo njegova zadnja smer vedno nasprotna smeri povratnega delovanja.

**3. KNJIGA**  
**O SISTEMU SVETA**  
**PRAVILA FILOZOFIRANJA**  
(1726)

### Uredniška opomba

»Pravila filozofiranja« ali »Pravila za filozofiranje« (*Regulae philosophandi*) se pod tem naslovom v *Matematičnih principih filozofije narave* pojavijo šele v drugi izdaji. V prvi izdaji se je tretja knjiga začela z devetimi hipotezami, ki jih je Newton v drugi izdaji razdelil v dve skupini. Prva in druga hipoteza, obe po svojem značaju metodološki, sta v drugi izdaji postali prvo in drugo pravilo filozofiranja, Newton pa jima je dodal še novo, tretje pravilo. V tretji izdaji je dodal še eno pravilo. Drugo skupino hipotez, v prvi izdaji so bile to hipoteze od 5 do 9, je poimenoval »Pojavi«, in sicer so to postali prvi, tretji, četrti, peti in šesti pojav. Dodal je tudi nov pojav, ki ga je označil s št. 2. Originalno drugo hipotezo je izločil, četrta hipoteza pa je postala hipoteza št. 1, ki pa jo je premaknil med 10. in 11. propozicijo. Poleg tega je tudi tretjo lemo preimenoval v drugo hipotezo.

68

Newton je v nekaterih osnutkih za tretjo izdajo *Principov* na grobo definiral, kaj razume kot pravilo filozofiranja. To je vsaka propozicija, ki se sklada s pojavi ali, v drugi različici, vsaka propozicija, ki je izvedena – Newton uporablja glagol *colligere* in ne močnejšega *deducere* »izpeljati« – s pomočjo indukcije. V izvorniku: »Regulam voco Propositionem omnem quæ ↓cum↓ ?Phaen duabus? vel cum pluribus ↓ex↓ Phænomenis respondet congruit, ?↓seu↓ ex ijsdem? per argumentum Inductionis stabilitur colligitur & cum ijsdem congruit.« (CUL Add. Ms. 3965, fol. 420<sup>r</sup>).

Vse besedilo v <koničastih oklepajih> je prevajalski dodatek, ki omogoča bolj tekoče branje.

### PRAVILO 1

*Ne sme se dopustiti več vzrokov naravnih stvari, kot so ti, ki so in resnični  
in zadostujejo za razlago<sup>1</sup> njihovih pojavov.*

Filozofi vsekakor pravijo: narava ničesar ne počne zaman in zaman se po mnogih stvareh zgodi tisto, kar se lahko zgodi po manj stvareh. Narava je namreč enostavna in ne pretirava z odvečnimi vzroki stvari.<sup>2</sup>

### PRAVILO 2

*In zato morajo biti vzroki, pripisani naravnim učinkom iste vrste,<sup>3</sup> isti,  
kolikor je to mogoče.*

Taki primeri so: vzrok dihanja pri človeku in pri živali; vzrok padanja kamnov v Evropi in v Ameriki; vzrok svetlobe v kuhinjskem ognju in na Soncu; vzrok odboja svetlobe na Zemlji in na <zvezdah> premičnicah.<sup>4</sup>

### PRAVILO 3

*Kvalitete teles, ki se ne morejo povečati in se zmanjšati<sup>5</sup> in ki ustrezajo  
vsem telesom, na katerih se lahko izvajajo poskusi,  
je treba imeti za kvalitete vseh teles.*

Kvalitete teles je namreč mogoče ugotoviti samo s poskusi, in zato je treba postaviti kot splošne kvalitete vse tiste, ki se na splošno ujemajo s poskusi; in kvalitete, ki se ne morejo zmanjšati, <telesom> ni mogoče odvzeti. Seveda se proti utemeljenim argumentacijam na osnovi poskusov ne sme izmišljati nepremi-

<sup>1</sup> Lat. *explicandis*, particip od *explicare*.

<sup>2</sup> To pravilo izraža idejo vzročnega minimalizma: število vzrokov, ki pojasnjujejo pojave, ne smemo množiti preko tistih, ki so nujni, saj narava deluje varčno. Pravi vzrok mora biti, poleg tega, da nekaj pojasnjuje, tudi resničen, tj. biti mora zadosten in nujen.

<sup>3</sup> Lat. *genus*; dob. istega »rodu«.

<sup>4</sup> Tj. planetih.

<sup>5</sup> Lat. *intendi et remitti nequeunt*. Newton uporablja sedanji trpnik infinitivov, ki ustrezata samostalnikom *intensio* in *remissio*, in so ju uporabljali poznosrednjeveški *calculatores* v razpravi o *latitudo formarum*, tj. o kvalitetah oz. lastnostih, ki jo je mogoče količinsko opredeliti ter se lahko povečujejo oz. naraščajo ali zmanjšujejo oz. pomanjšujejo. John Harris je v *Lexicon Technicum*, London, 1704, *intesion in natural philosophy* definiral kot »increase of the power or Energy of any Quality, such as *Hot, Cold, &c* for of all Qualities they say, they are *Intended* and *Remmited*; that is capable of Increase and Diminution«.

šljenih sanjarij, in tudi se ne sme odmakniti od analogije narave, ker je ta navadno enostavna in vedno skladna s sabo. Razsežnost teles se ugotovi samo po čutih, vendar pa s čuti vseh <teles> ni mogoče zaznati; ker pa <razsežnost> pripada vsem zaznavnim <telesom>, se zatrjuje za vsa <telesa>.<sup>6</sup> Izkušamo, da je več teles trdih. Trdost celote pa izvira iz trdosti delov in zato na osnovi tega upravičeno sklepamo, da so nedeljeni delci ne samo teh teles, ki jih je mogoče zaznati, ampak tudi vseh drugih trdi. Da so vsa telesa nepredirna, razbiramo ne z razumom, ampak s čuti.<sup>7</sup> Za telesa, s katerimi operiramo, ugotavljamo, da so nepredirna, in iz tega sklepamo, da je nepredirnost lastnost vseh teles. Da so vsa telesa gibljiva in da s pomočjo nekih sil (ki jih imenujemo sile inercije) vztrajajo v gibanju ali mirovanju, razbiramo na osnovi teh lastnosti na telesih, ki jih vidimo. Razsežnost, trdost, nepredirnost, gibljivost in sila inercije celote izvira iz razsežnosti, trdosti, nepredirnosti, gibljivosti in sil inercije delov; in iz tega sklepamo, da so vsi najmanjši deli vseh teles razsežni, da so trdi, nepredirni, gibljivi in obdarjeni s silami inercije. In to je temelj vse filozofije narave<sup>8</sup>. Dalje na osnovi pojavov vemo, da se razdeljeni in med seboj dotikajoči se deli lahko vzajemno ločijo eden od drugega, in da je na osnovi matematike gotovo, da je mogoče nerazdeljene dele z razumom razločiti na manjše dele. Negotovo pa je, ali se lahko ti razločeni in še ne razdeljeni deli po silah narave delijo in ločujejo eden od drugega. Toda če bi bilo z enim samim poskusom ugotovljeno, da se neki nerazdeljeni delci ob lomljenju trdega in trdnega delijo, bi z močjo tega <tretjega> pravila sklepali ne le, da so razdeljeni deli ločljivi, ampak tudi, da se nerazdeljeni deli lahko delijo v neskončnost. Končno: če je na osnovi poskusov in astronomskih opazovanj na splošno znano, da vsa telesa na Zemlji ali okoli nje težijo proti Zemlji in to sorazmerno s količino materije v posameznih <telesih>, da Luna teži proti Zemlji sorazmerno s količino svoje materije in da obrnjenost naše morje teži proti Luni, da vse premičnice vzajemno težijo ena proti drugi in da obstaja podobna težkost kometov proti Soncu, bo treba po tem <tretjem> pravilu reči, da vsa telesa vzajemno težijo eno proti drugemu. Utemeljitev glede splošne težkosti bo namreč na osnovi pojavov še močnejša kot utemeljitev glede nepredirnosti teles; zanjo pa v primeru nebesnih teles nimamo sploh nobenega poskusa in čisto nobenega opazovanja. Kljub temu pa sploh ne zatrjujem, da je

70

<sup>6</sup> Lat. *de universis affirmatur*; »se pripisuje vsem <telesom>«.

<sup>7</sup> Lat: *sensu*; tudi: »z zaznavo«.

<sup>8</sup> Besedo »narave« je Newton dodal v tretji izdaji.



težkost bistvena za telesa. Pod »vsajena sila«<sup>9</sup> razujem samo silo inercije. Ta je nespremenljiva. Težkost se z odmikanjem <teles> od Zemlje zmanjšuje.<sup>10</sup>

#### **PRAVILO 4<sup>11</sup>**

*V eksperimentalni filozofiji je treba vse propozicije, zbrane iz pojavov na osnovi indukcije, imeti za ali natančno ali kar najbližje kot je mogoče resnične, če le temu ne nasprotujejo nasprotne hipoteze, dokler ne nastopijo drugi pojavi, na osnovi katerih propozicije postanejo natančnejše ali pa podvržene izjemam.*

To mora veljati, da hipoteze ne bi razveljavile utemeljitve na osnovi indukcije.

---

<sup>9</sup> Lat. *vis insita*.

<sup>10</sup> Newton je zadnje tri stavke, v katerih opozarja na razliko med splošnimi in bistvenimi kvalitetami ali lastnostmi, dodal v tretji izdaji *Principov*.

<sup>11</sup> Newton je »Pravilo 4« dodal v tretji izdaji *Principov*.



# SPLOŠNA SHOLIJA

(1726)

## Uredniška opomba

Newton je nameraval prvo izdajo *Matematičnih principov filozofije narave* zaključiti s »Sklepom« (*Conclusio*), česar pa nazadnje ni storil. V drugi izdaji delo zaključuje »Splošna sholija« (*Scholium generale*), ki je bila rahlo spremenjena ponatisnjena tudi v tretji izdaji. »Splošno sholijo« je Newton razvil iz niza sholij k propozicijam 4 do 9 tretje knjige *Principov*, ki jih je napisal že v 1690<sup>ih</sup> letih in jih je nameraval vključiti v drugo, popravljeno in predelano izdajo. Te, v rokopisu ohranjene sholije, izdajajo grške vire, ki jih je Newton uporabljal pri pisanju, zato so v literaturi znane kot »Klasične sholije«.

Izraz »sholija« je v antiki označeval komentarje, ki naj bi pojasnili besedilo, in so jih dodajali tako na rob besedila kot tudi v besedilo samo. Kasneje so sholije postale samostojen komentar in so jih objavljali ločeno.

74

»Splošna sholija« je eno najmogočnejših, zgoščenih in polemičnih besedil v zgodovini filozofije in znanosti. V njej Newton na kratko obravnava celo plejado tem: vedo o kometih, težkost ali gravitacijo, gibanje planetov, argument božjega načrta, množstvo svetov, prostor, plimovanje, aktivne moči, elektriko ter filozofsko in biblijsko teologijo. Besedilo je mogoče razdeliti na naslednje sklope. Prvič: povzetek glavnih argumentov, ki dokazujejo, da se nebesni pojavi ne skladajo s mehanicistično teorijo vrtincev; temu sledi razprava o »praznini v nebesnih prostorih«. Drugič: dokaz obstoja Boga na podlagi božjega načrta; argument božjega načrta; analiza Božjih imen in njegovih atributov. Tretjič: zanikanje poznavanja vzroka težkosti in narava hipotez. Četrtoč: delovanje pretanjenega duha, ki bi mogoče lahko pojasnilo vzrok in način delovanja gravitacije.

Vse besedilo v <koničastih oklepajih> je prevajalski dodatek, ki omogoča bolj tekoče branje.

Hipotezo o vrtincih pestijo številne težave.<sup>1</sup> Da bi sleherni planet, če potegnemo polmer do Sonca, zarisal območja, sorazmerna s časom, bi morali biti obhodni časi delov vrtinca v kvadratnem razmerju z razdaljami od Sonca. Da bi bili obhodni časi planetov v razmerju 3 : 2 z razdaljami od Sonca, bi morali biti obhodni časi delov vrtinca v razmerju 3 : 2 razdalj. Da bi se ohranjali manjši vrtinci, ki krožijo okoli Saturna, Jupitra in drugih premičnic in da bi mirno plavali v vrtincu Sonca, bi morali biti obhodni časi delov Sončevega vrtinca enaki. Vrtenja Sonca in planetov okoli svojih osi, ki bi se morala ujemati z gibanjem vrtincev, pa se od vseh teh (so)razmerij razlikujejo. Gibanja kometov so izjemno pravilna, ravnajo se po istih zakonih kot gibanja planetov in jih z vrtinci ni mogoče pojasniti. Kometi potujejo z zelo izsrednimi<sup>2</sup> gibanji v vse dele neba, kar bi se ne moglo dogajati, če ne bi odstranili vrtincev.<sup>3</sup>

Projektili<sup>4</sup> v našem zraku<sup>5</sup> čutijo samo upor zraka. Če se zrak odstrani, kot na primer v Boylovem vakuumu,<sup>6</sup> upor popusti, kajti lahko pero in čvrsto zlato v tem vakuumu padata z enako hitrostjo. Enako je v nebesnih prostorih, ki so nad Zemljino atmosfero. Vsa telesa v teh prostorih se morajo gibati povsem svobodno in zato planeti in kometi nenehno krožijo po orbitah, danih po vrsti in položaju, skladno z zgoraj predstavljenimi zakoni. Na svojih orbitah bodo sicer vztrajali po zakonih težkosti, a prave lege teh orbit na samem začetku po teh zakonih nikakor niso mogli doseči.

Šest glavnih planetov kroži okoli Sonca po krogih, ki so s Soncem istosrediščni,<sup>7</sup> z isto smerjo gibanja in kar najbližje isti ravnini. Deset lun kroži okoli Zemlje, Jupitra in Saturna v istosrediščnih krogih z isto smerjo gibanja in kar najbližje ravninam orbit planetov. In vsa ta pravilna gibanja ne izvirajo iz mehaničnih

<sup>1</sup> Newton ima v mislih predvsem Descartesa, Leibniza in Huygensa, ki so gibanje planetov pojasnjevali mehanično kot rezultat gibanja v vrtince oblikovanih delcev materije. Ti delci materije skladno z mehanicistično filozofijo delujejo na površine teles, in sicer neposredno.

<sup>2</sup> Ali: »ekscentričnimi gibanji«.

<sup>3</sup> Newton v zadnjih dveh stavkih prvega odstavka povzema Cotesov »Predgovor« in ne lastnih *Principov*.

<sup>4</sup> Tj. vržene, zagnane ali izstreljene stvari.

<sup>5</sup> Tj. v našem ozračju, v Zemljini atmosferi.

<sup>6</sup> Newton ima v mislih Boylovo zračno črpalko, iz katere je bilo mogoče v veliki meri odstraniti zrak.

<sup>7</sup> Ali: »koncentrični«.

vzrokov, saj kometi potujejo po zelo izsrednih<sup>8</sup> orbitah in v vse dele neba. S to vrsto<sup>9</sup> gibanja kometi zelo hitro in zelo zlahka prehajajo skozi orbite planetov in na svojih odsončjih,<sup>10</sup> kjer so počasnejši in se tudi dlje mudijo, so kar najbolj oddaljeni eden od drugega, tako da se vzajemno kar najmanj privlačijo.

Ta nadvse elegantna sestava Sonca, planetov in kometov je lahko nastala zgolj in samo po načrtu in gospostvu umnega in mogočnega Bitja. In če so zvezde stalnice središča podobnih sistemov, bodo vsi ti sistemi zgrajeni po podobnem načrtu in podrejeni gospostvu *Enega*, še zlasti ker je svetloba zvezd stalnic enake narave kot svetloba Sonca in vsi sistemi izmenoma pošiljajo svetlobo v vse <druge>. In da sistemi zvezd stalnic zaradi svoje težkosti ne bi padli eden na drugega, jih je ta <En> postavil na neizmerno razdaljo enega od drugega.

Ta vlada vsem ne kot duša sveta, ampak kot gospodar vsega. In zaradi svoje-ga gospostva se navadno imenuje Gospod Bog Pantokrator.<sup>11</sup> Beseda »Bog« je razmerna in se nanaša na služabnike in bogovskost; je gospodovanje Boga ne nad lastnim telesom, kot menijo tisti, za katere je Bog duša sveta, ampak nad služabniki. Najvišji Bog je večno, neskončno in absolutno popolno bitje; toda bitje, kakor koli že popolno, brez gospostva ni Gospod Bog. Govorimo namreč »moj Bog«, »vaš Bog«, »Bog Izraela«, »Bog bogov« in »Gospod gospodov«, toda ne govorimo »moj večni«, »vaš večni«, »večni Izraela«, »večni <izmed> bogov«; ne govorimo »moj neskončni« ali »moj popolni«. Ta poimenovanja<sup>12</sup> se ne nanašajo na služabnike. Beseda »Bog« ima v široki rabi pomen »gospod«; toda vsak gospod ni Bog. Gospodovanje duhovnega bitja tvori Boga, resnično resničnega, najvišje najvišjega in namišljeno namišljenega. In iz resničnega gospodovanja sledi, da je resnični Bog živ, umen in mogočen; iz ostalih popolnosti, da je najvišji ali najvišje popoln. Je večen in neskončen, vsemogočen in vseveden, to je, traja iz večnosti v večnost in je prisoten iz neskončnosti v neskončnost; vsemu vlada in pozna vse, kar se zgodi in kar se lahko zgodi. Ni večnost in neskončnost, ampak je večen in neskončen; ni trajanje in prostor, ampak traja in je prisoten. Traja vedno in je prisoten povsod in z obstajanjem vedno in povsod tvori trajanje in prostor. Ker je sleherni delec prostora *vedno* in ker je sleherni

76

<sup>8</sup> Ali: »ekscentričnih«.

<sup>9</sup> Dob. »rodom«.

<sup>10</sup> Odsončje ali afelij je točka največje oddaljenosti od Sonca.

<sup>11</sup> Gr. Παντοκράτωρ.

<sup>12</sup> Tj. »večni«, »neskončni«, »popolni«.

nedeljivi trenutek trajanja *povsod*, gotovo Stvaritelj in Gospod vseh stvari ne bo *nikoli* in *nikjer*.

Vsaka čuteča duša je ob različnih časih in v različnih organih čutov in gibanj ista nedeljiva oseba. Obstajajo zaporedni deli v trajanju, ki soobstajajo v prostoru, ne eno ne drugo pa ne obstaja v osebi človeka ali v njegovem mislečem principu, še dosti manj pa v misleči substanci Boga. Vsak človek, v kolikor je čuteča stvar, je en in isti človek v času trajanja svojega življenja v vseh posameznih organih čutov. Bog je eden in isti vedno in povsod. Je vseprisoten ne samo s svojo *dejavno močjo*, ampak tudi s *substanco*, kajti moč ne more samostojno obstajati brez substance. V njem samem so vsebovane in se gibljejo vse stvari, toda brez vzajemnega utrpevanja.<sup>13</sup> Bog ne utrpeva ničesar od gibanj teles; ta telesa ne čutijo nobenega upora od vseprisotnosti Boga.

Soglasno je sprejeto, da najvišji Bog nujno obstaja in zaradi iste nujnosti je *vedno* in *povsod*. Zato je tudi ves enak samemu sebi: ves je oko, ves je uho, ves je možgani, ves roka, ves moč čutenja, umevanja in delovanja, toda na način, ki ni niti najmanj človeški, na način, ki ni niti najmanj telesen, na način, ki nam je povsem neznan. Kakor slepec nima ideje o barvah, tako mi nimamo ideje o načinih, na katere najmodrejši Bog čuti in umeva vse. Nima nobenega telesa in prav nobene telesne oblike in zato ga ni mogoče videti ne slišati ne dotakniti se ga in ne častiti ga pod podobo kake telesne stvari. Imamo ideje o njegovih atributih, toda sploh ne spoznavamo, kaj je substanca katere koli stvari. Vidimo samo oblike in barve teles, slišimo samo <njihove> zvoke, dotikamo se samo <njihovih> zunanjih površin, vohamo samo <njihove> vonje in okušamo <njihove> okuse; <njihovih> najglobljih substanc pa ne spoznavamo z nobenim čutom, z nobeno premišljujočo dejavnostjo in še dosti manj imamo idejo o substanci Boga. Tega spoznavamo samo po njegovih lastnostih in atributih, po najmodrejših in najboljših ureditvah stvari in smotrni vzrokih ter ga občudujemo zaradi popolnosti; spoštujemo in častimo pa ga zaradi gospostva. Častimo ga namreč kot služabniki in Bog brez gospostva, previdnosti in smotrni vzrokov ni nič drugega kot usoda in narava. Iz slepe metafizične nujnosti, ki je nasploh vedno in povsod ista, ne izvira nobena raznolikost stvari. Celotna različnost ustvarjenih stvari glede na mesta in čase je mogla izvirati samo iz idej in volje nujno obstajajočega Bitja. Za Boga pa se alegorično pravi, da sliši, govori, se smeje,

<sup>13</sup> Tj., da on ne deluje na njih in one ne nanj.

ljubi, sovraži, želi, daje, prejema, se veseli, se jezi, se bojuje, izdeluje, ustvarja, gradi. Vse govorjenje o Bogu se namreč zajema iz človeških stvari na podlagi neke podobnosti, ki sicer ni popolnoma podobna, je pa kljub temu nekakšna podobnost. Toliko o Bogu; in razpravljanje o Bogu iz pojavov vsekakor spada na področje filozofije narave.<sup>14</sup>

Doslej sem pojasnil pojave neba in našega morja s silo težkosti, toda vzroka težkosti še nisem pripisal. Ta sila vsekakor izvira iz nekega vzroka, ki prodira vse do središč Sonca in planetov brez zmanjšanja moči in ki ne deluje z ozirom na količino površin delcev, na katere deluje (kot je običajno za mehanične vzroke), ampak z ozirom na količino trdne materije, in katere delovanje se vsepovsod razteza v neizmerne razdalje, vedno pa se zmanjšuje v kvadratnem razmerju razdalj. Težkost v Soncu je sestavljena iz težkosti posameznih delcev Sonca in z odmikanjem od Sonca upada natanko v kvadratnem razmerju razdalj vse tja do orbite Saturna, kot je očitno iz mirovanja odsončij planetov, in vse do skrajnih odsončij kometov, če le ta odsončja mirujejo. A razloga za te lastnosti težkosti še nisem mogel izpeljati iz pojavov, hipotez pa si ne izmišljujem.<sup>15</sup> Vse namreč, kar se ne izpelje iz pojavov, je treba imenovati *hipoteza*. Za hipoteze, bodisi metafizične bodisi fizikalne bodisi temelječe na skritih kvalitetah bodisi mehanične pa v eksperimentalni filozofiji ni prostora. V tej filozofiji se propozicije izpeljejo iz pojavov in postajajo splošne z indukcijo. Tako se je izvedelo za nepredirnost, gibljivost in zagon teles ter za zakone gibanj in težkosti. In dovolj je, da težkost resnično obstaja, da deluje po zakonih, ki sem jih pojasnil, in da zadostuje za vsa gibanja nebesnih teles in našega morja.

Zdaj bi lahko dodal še nekatere stvari o nekem nadvse pretanjenem duhu, ki prežema gosta telesa in se skriva v njih; z njegovo silo in delovanji se delci teles vzajemno privlačijo na najmanjše razdalje, in ko se staknejo, so med seboj trdno povezani; naelektrena<sup>16</sup> telesa delujejo na večje razdalje, tako da odbijajo kot tudi privlačijo sosednja telesa; svetloba je oddajana, se odbija, se lomi, se uklanja in ogreva telesa; vsaka zaznava je spodbujena in udje živali se gibljejo

78

<sup>14</sup> V drugi izdaji: »razpravljanje o Bogu iz pojavov vsekakor spada na področje eksperimentalne filozofije«.

<sup>15</sup> Gre verjetno za najznamenitejšo Newtonovo trditev: »Hypotheses non fingo.« Newton seveda ne trdi, da ne uporablja ali tvori hipotez, temveč zgolj to, da ne ustvarja fiktivnih, namišljenih hipotez, tj. hipotez, ki ne izhajajo iz pojavov.

<sup>16</sup> Lat. *electricus*; dob. »električna«.



po volji, seveda zaradi tresljajev tega duha, ki se širijo po trdnih, kot las tankih vlakencih živcev od zunanjih organov čutov do možganov in iz možganov v mišice. Toda tega ni mogoče razložiti v nekaj besedah; prav tako ni na voljo dovolj veliko število poskusov, ki bi lahko natančno določili in pokazali zakone delovanje tega duha.

KONEC