

Goran Rujević

Univerzitet u Novom Sadu, Filozofski fakultet, Dr Zorana Đinđića 2, RS–21000 Novi Sad
goran.rujevic@ff.uns.ac.rs

Idealizacija prostora u Newtonovoj racionalnoj mehanici

Sažetak

Aksiomska metoda izlaganja tvrdnji u Matematičkim principima prirodne filozofije Isaaca Newtona na prvi pogled kosi se s eksperimentalnim pristupom ovog znanstvenika. Međutim, geometrijski pristup u ovom djelu neophodan je poradi formiranja znanstvenog sistema svijeta – to svijeta koji je inherentno matematičan u svom apsolutnom okviru. Ova matematičnost nije ni platonistička ni aproksimativna, nego je utemeljena na mogućnosti idealizacije geometrijskih figura i proporcija iz fizičkih kretanja. Prateći ideje Thomasa Hobbesa i Isaaca Barrowa, Newton postulira jednu racionalnu mehaniku čiji je zadatak premostiti spoznajni jaz između apsolutnog i relativnog prostora (i vremena) te omogućiti univerzalno važeću prirodnu filozofiju – preteču znanosti fizike. Takva racionalna mehanika podrazumijeva mogućnost savršeno preciznog konstruiranja i mjerenja.

Ključne riječi

apsolutni/relativni prostor, geometrija, kretanje, Isaac Newton, racionalna mehanika

Eksperimentalna aksiomatika

Pri općem sagledavanju *Matematičkih principa prirodne filozofije* Isaaca Newtona, trivijalno je konstatirati da je to djelo ustrojeno *more geometrico*, ali nije trivijalno pitati – zašto? Ako je ovaj filozof prirode zastupao eksperimentalni način dolaženja do spoznaje te jasno proklamirao da ne izmišlja hipoteze, nije li neobično da svoje kapitalno djelo ustroji na aksiomatski način? Dok je njegov drugi seminalni spis *Optika* pisan prije kao dnevnik jednog eksperimentatora, *Principi* imaju euklidovsku strukturu – počinju postavljanjem jasnih definicija, zatim se prelazi na postuliranje aksioma (zakona kretanja), da bi se nakon toga, uz dodatnu pomoć lema, iznosili zaključci u vidu teorema, praćeni objašnjenjima u sholijama. U ovom radu želimo ispitati koji su najvjerojatniji razlozi da eksperimentalni filozof prezentira svoje eksperimentalno djelo na geometrijski način. Nakon toga, razmotrit ćemo na koji način treba razumjeti idealističke koncepcije koje se uslijed toga javljaju u *Principima*, što će nas konačno uputiti na problem pomirenja iskustvene spoznaje provedenog preko ideja relativnog prostora i vremena s matematičkim znanjem provedenim pomoću ideja apsolutnog prostora i vremena. Glavna je teza ovog istraživanja da znanost racionalne mehanike kod Newtona predstavlja tu traženu vezu između spomenutih koncepcija koje se naizgled razilaze u pravcima spoznaje.

Ispitivanje započinjemo s pozicije da ne može biti riječi o tome da je ovakvo metodološko ustrojstvo *Principa* slučajno jer Newton je odveć dobro pozna-

vao Euklida i njegov način matematičkog rezoniranja. Stoga za početak, valjalo bi nakratko razmotriti što točno u euklidovskom sistemu znače neke od navedenih vrsta propozicija te koju funkciju imaju.

Matematička definicija u sebi objedinjuje karakteristike koje su podrazumijevane kada se imenuje neki matematički entitet. Matematička definicija samo treba biti razumljena.¹ Ona ništa ne govori o nužnosti ni mogućnosti postojanja predmeta koji se definira, ona samo kazuje s kojim karakteristikama raspoložemo ako razmatramo izvjestan entitet. Matematička definicija tako omogućava geometru da se koristi proizvoljnim trokutima za demonstraciju univerzalno važećih teorema. Jer kad geometar u teoremu koji treba dokazati zatekne termin »trokut«, on zna da je taj trokut proizvoljan po svim parametrima izuzev tog da mora biti sastavljen od tri stranice i tri kuta; veličina stranice i veličina kuta mogu biti kakvi god ako u definiciji nisu precizirani. Naime, kada važenje neke propozicije pokažemo na bilo kojem primjeru koji ispunjava uvjete postavljene definicijom termina, to znači da je ta propozicija dokazana na svim takvim primjerima jer uslijed proizvoljnosti neodređenih karakteristika, umjesto tog jednog proizvoljnog trokuta mogao je biti uzet bilo koji drugi.

Newton je u najvećoj mogućoj mjeri koristio upravo ovu karakteristiku definicija kada ih je propisao na početku *Principa*. Ove su mu definicije omogućile da jasno razgraniči parametre svjetske zgrade koje će uzimati u razmatranje, u odnosu na parametre koje će ignorirati. To mu je dalo dopuštenje da među definicije uvede nekoliko netipičnih termina i, što je još bitnije, mnoge neintuitivne i nestandardne odredbe. Najzad, gotovo sve početne Newtonove definicije referiraju se na fizičke entitete, ali to ih ne čini ni rječničkim ni realnim definicijama. Newtonove definicije uvijek ostaju strogo matematičke u onom smislu da operacionaliziraju smisao matematičke upotrebe termina koji su ili dio svakodnevnog rječnika ili su, čak, posebno sačinjeni za Newtonove potrebe.

Termini koji se kod Newtona na početku *Principa* definiraju su: količina materije, količina kretanja, urođena sila, primijenjena sila, centripetalna sila, apsolutna veličina centripetalne sile, ubrzavajuća veličina centripetalne sile, pokretačka veličina centripetalne sile. Svi navedeni termini izuzev tri (urođene, primijenjene i centripetalne sile), definiraju se u okvirima *mjere*, to jest uspostavljaju se matematičke relacije po kojima se može determinirati svaki od tih termina. Tako, definicija količine materije glasi:

»Količina materije je mjera iste, a proizlazi iz njene gustoće i zapremnine zajedno.«²

Kvantitativna izračunljivost u arbitrarnim ljudskim jedinicama sekundarna je u ovom trenutku jer jedinice su samo imena koja proizvoljno dajemo određenom opsegu intenziteta neke veličine. Prava matematička priroda stvari iskazana je konstatacijom inherentne relacije i proporcije. U tom pogledu, slijedeća tvrdnja ima još veću težinu:

»Od sada pa nadalje, upravo je ova veličina [količina materije, *prim. aut.*] ono što na svakom mjestu podrazumijevam pod pojmom tijela ili mase, a koju saznajemo pomoću težine svakog tijela jer je ona proporcionalna težini, kao što sam saznao iz veoma preciznih eksperimenata na klatnu koji će biti predstavljeni u daljem tekstu.«³

Ovdje nalazimo nedvosmisleni indikaciju da količina materije nije nikakva posebna stvar, nikakvo tijelo ili pojava, ali se preko pojava utvrđuje – i to preko pojava koje se mogu jasno i precizno izmjeriti. Količina materije je, dakle, matematički entitet određen tako da se može izvesti iz konkretnih opažajnih stanja u svijetu.

Kako u ovom kontekstu treba razumjeti tri ne-mjerne definicije, definicije koje se tiču urođene, primijenjene i centripetalne sile? Strogo gledano, i ovi su termini matematički operacionalizirani kod Newtona, samo to nije izvršeno u samim definicijama, nego u komentarima koje ih prate. Pojam sile koji se u tim definicijama ustanovljuje, radikalno se razlikuje od svih dotadašnjih konceptualizacija tog termina. Čak i kada govori o »urođenoj« sili, za Newtona sila nije inherentno svojstvo tijela:

»...tijelo ispoljava ovu silu samo kad druga sila, koja djeluje na njega, teži promijeniti njegovo stanje (...).«⁴

Newtonovske sile imaju tu egzotičnu ontološku karakteristiku da se trenutno pojavljuju, ispoljavaju i podjednako brzo nestaju kada prestane konkretno djelovanje. Temelj tog nestandardnog ponašanja karakteristika je koje ove sile dijele s prethodno spominjanim mjerama, a to je da ni jedna od njih ne može biti opažena i spoznata neposredno i sama po sebi, nego tek pomoću nekih drugih iskustvenih spoznaja: da bismo znali količinu materije koja nije izravno mjeriva, moramo znati gustoću i zapremninu tijela, za što postoje precizni načini mjerenja; da bismo imali spoznaju sile, moramo biti svjedoci djelovanju tijekom kojeg se ta sila ispoljava. Time dolazimo do zajedničke karakteristike svih termina koji su obuhvaćeni Newtonovim definicijama i možemo razumjeti zbog čega se on odlučio da ih na ovakav način predstavi. Njegovim riječima:

»Do sada sam izložio definicije pojmova koji su manje poznati, i objasnio smisao po kojem bih htio da budu shvaćeni u narednom razlaganju. Nisam definirao vrijeme, prostor, mjesto i kretanje jer su svima dobro poznati.«⁵

Nije, dakle, stvar u imitaciji Euklida po sebi, nego su matematičke definicije jedini pouzdan način da se jasno odrede stvari koje su inherentno matematičke.

Same definicije, pak, nisu dovoljne te je neophodno pozivati se na osnovne aksiome. Oni pružaju matricu kroz koju se definicije mogu upotrebljavati. Bez aksioma, definicije su naprosto mrtva slova, taksativni unosi s kojima se ništa ne može činiti jer nije određen definitivni prostor mogućih radnji. Pouzdanost aksiomatskih propozicija u Euklidovu slučaju bazirana je na njihovoj samoevidentnosti. Tri aksioma i šest korolara onda bi u Newtonovim *Principima* morali ispunjavati sličnu ulogu. Ali Newtonovi zakoni/aksiomi definitivno nisu apriorno postavljeni. Kao i definicije i oni proizlaze iz dugotrajnih i ponovljenih preciznih promatranja. Njihov aksiomatski status potječe od toga što su ovi zakoni *dovoljni* da uz zadane definicije formiraju moćan matematički aparat.

Ovom prilikom vrijedi napomenuti jednu bitnu stvar vezanu uz zakone/aksiome kretanja i njihove korolare. Newton je kazao:

1
Thomas L. Heath, »Introduction«, *The Thirteen Books of Euclid's Elements, Volume I*, Cambridge University Press, Cambridge 1908., str. 119.

2
Isak Njutn [Isaac Newton], *Matematički principi prirodne filozofije*, prevela Ljiljana Matić, Akademska knjiga, Novi Sad 2011., str. 11.

3
Ibid., str. 11.

4
Ibid., str. 12.

5
Ibid., str. 16.

»Do sada sam postavio takve principe, koji kao da su dobiveni od matematičara i koji su potvrđeni mnoštvom eksperimenata (...).«⁶

Ovu konstataciju »kao da« ne treba tumačiti u smislu da te propozicije *samo izgledaju* kao matematičke, a da zapravo nisu. Već prvi korolar zakona kretanja koji utemeljuje sabiranje i rastavljanje vektora sila pokazuje kako matematički karakter tvrdnji nikako nije napušten. Naime, kada kažemo da će dvije sile koje istovremeno djeluju na jedno tijelo proizvesti kretanje kao jedna rezultantna sila konstruirana kao dijagonala paralelograma čije su stranice prve dvije sile, time pokazujemo u kojoj mjeri te sile imaju matematičku prirodu. Možda u nekom danom slučaju i postoje dva zasebna djelovanja, dvije sile koje djeluju na tijelo, ali opet će ponašanje tog tijela biti takvo kao da je u pitanju jedna sila matematički dobivena iz osnovnih karakteristika ovih prvobitnih. A s obzirom na to da o silama ne možemo svjedočiti neposredno, nego tek na osnovu efekata, mi pouzdano možemo govoriti o jednoj rezultirajućoj sabranoj sili. Ovo nije samo tehnički kuriozitet, ovo je inherentna mogućnost fizičkih procesa da funkcioniraju prema pravilnostima koja diktira geometrija. O ovakvom tumačenju direktno govori i drugi korolar zakona kretanja, u kojem je Newton rekao da »su slaganje i razlaganje [sila, *prim. aut.*] umnogome potvrđeni u mehanici«,⁷ a u obrazloženju istog dodatno prokomentirao:

»Zato je upotreba ovog Korolara daleko i široko rasprostranjena, a zbog te difuzne rasprostranjenosti istina toga je daleko potvrđena. Jer iz onoga što je rečeno ovisi cjelokupno učenje mehanike koju su različito predstavili razni autori, iz čega se lako mogu zaključiti sile mašina, koje su sastavljene od kotača, poluga, konopaca i utega, koji utječu direktno ili koso, kao i druge mehaničke snage, kao i sile tetiva koje pomiču kosti životinja.«⁸

Ovaj nam citat nesumnjivo potvrđuje ideju koja se mogla naslutiti iz početnih tvrdnji u Newtonovim *Matematičkim principima prirodne filozofije*. Geometrijski način izlaganja materijala u ovom djelu nije ujedno i način na koji se do spoznaje o tom materijalu došlo, iako između njih postoji jasna veza. Pravi razlog upotrebe geometrijske metode ima dva aspekta, metodološki i povijesni. S metodološkog stanovišta, geometrijska metoda najefikasniji je način da se implementira ideja da je priroda matematički uređena. Riječima Ursule Goldenbaum, koja govori o metodologiji znanosti XVII i XVIII stoljeća:

»...geometrijska metoda nije samo oblik prezentiranja ili demonstracije. Radije, ova je metoda bila viđena kao *novi standard* znanja prirodnih stvari. Bila je prihvaćena kao novi epistemološki pristup vanjskom svijetu, postavljajući temelje za novu vrstu znanosti i filozofije.«⁹

To nas direktno vodi do drugog, historijskog razloga. S historijske točke gledišta, *Principi* su utemeljeni na obilnoj tradiciji fizičkih istraživanja koja su sprovedena prije Newtona. U tom aspektu, bilo bi krajnje nepraktično da je ovo djelo pisano u obliku kronike koja bi evidentirala i izbrojila svaki pojedinačni eksperiment – kako autora, tako i autorovih prethodnika. Geometrijski postupak znatno je efikasniji u rezimiranju i podvlačenju svih ovih postignuća i u njihovom artikuliranju u jedinstveni sistem zakonitosti koji određuje sistem svijeta.

Ovo razmatranje paralela između Newtonova i Euklidova pristupa otvara opasnost da se Newtonova pozicija razumije odveć euklidovski. Na primjer, kada je spominjao koje je termine odlučio definirati, a koje ne, Newton je eksplicitno spomenuo da među njih nije uključio neke dobro poznate termine, među kojima su se našli prostor i vrijeme. Citiram:

»Ipak, moram primijetiti da uobičajeno razumijevanje ovih pojmova podrazumijeva samo njihov odnos prema osjetilnim objektima. Zbog toga se pojavljuju određene predrasude, za čije

je otklanjanje prikladno razlikovati te veličine na apsolutne i relativne, stvarne i očigledne, matematičke i obične.«¹⁰

Sholija u kojoj je postavljena ova konstatacija poznata je upravo kao mjesto na kojem Newton postulira svoju ključnu razliku između apsolutnog i relativnog prostora i vremena. Uz sve poznate karakteristike, pak, valja naglasiti da Newton apsolutno vrijeme, koje teče ujednačeno, naziva još i istinskim i *matematičkim*, dok je relativno, ili još obično ili *očigledno* vrijeme,

»... neka opažajna i vanjska (bilo da je precizna ili neujednačena) mjera trajanja posredstvom kretanja, a koje se uobičajeno koristi umjesto istinskog vremena.«¹¹

Slična se distinkcija povlači između apsolutnog i relativnog prostora, pri čemu je ovaj prvi vječno istovjetan, a drugi biva određen osjetilima. Zar ovdje nije riječ o postuliranju dva svijeta, jednog idealnog, matematičkog svijeta apsolutnog prostora i vremena i drugog, promjenjivog i osjetilnog svijeta relativnog prostora i vremena?

Međutim, Newton sigurno nije platoničar. On ove dvije, naizgled dispartne dimenzije zapravo vrlo prisno povezuje preko specifičnog načina »idealizacije« matematičkih entiteta, a za razumijevanje prave prirode tog procesa neophodno je poznavanje uloge takozvane *racionalne mehanike*. Pod ovom idealizacijom ne podrazumijeva se jednostavna apstrakcija forme iz predmeta, nego prije postupak sličan jednostavnoj analizi kojim se složena pojava rastavlja na elementarne komponente koje su podložne lakšoj konceptualizaciji. Takva idealizacija, uostalom, opća je posljedica ideje matematičke prirode.

»U sedamnaestom i osamnaestom stoljeću, ako bi se mehanika primakla konceptualizaciji koju tadašnja matematika nije mogla artikulirati, onda bi mehanika naprosto uputila matematiku da to učini; a matematika, nakon što bi to naučila, povratno bi utjecala na mehaniku tako što bi joj davala više nego što je ova izvorno tražila.«¹²

Određivanje racionalne mehanike nužan je korak da bi se geometrijsko učenje utemeljilo i usuglasilo s paradigmom iskustvene spoznaje. Iako bi na početku djelovalo proturječno da se precizna i univerzalna matematika zasniva na čovjekovom nesavršenom iskustvu, ovo učenje bilo je često među otočkim filozofima XVII stoljeća. Newton je svoje razumijevanje racionalne mehanike zapravo baštiniio na učenjima filozofa Thomasa Hobbesa i učitelja Isaaca Barrowa, ali je njihove ideje dalje razvio u pravcu snažne spekulativne matematike.

Utjecaj Thomasa Hobbesa i Isaaca Barrowa

Hobbesovo razumijevanje matematičkog znanja može se iščitati iz njegova djela *O tijelu*, koje je objavljeno 1655. godine kao prvi dio obuhvatnih *Elemen-*

6
Ibid., str. 30.

7
Ibid., str. 24.

8
Ibid., str. 26.

9
Ursula Goldenbaum, »The Geometrical Method as a New Standard of Truth, Based on the Mathematization of Nature«, u: Geoffrey Gorham i dr. (ur.), *The Language of Nature*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2016., str. 274–307, str. 274.

10
I. Njutn [I. Newton], *Matematički principi prirodne filozofije*, str. 16.

11
Ibid., str. 16.

12
Salomon Bochner, »The Role of Mathematics in the Rise of Mechanics«, *American Scientist* 50 (1962) 2, str. 294–311, str. 296.

nata filozofije. Hobbes je spis *O tijelu* podijelio na četiri dijela koji se, redom, bave logikom, zatim neodređeno nazvanim »prvim osnovama filozofije«, kretanjem i, na kraju, fizičkim fenomenima. U »prvim osnovama filozofije«, Hobbes je odlučio temeljno odrediti osnovne termine teorijskog spoznajnog diskursa te u tom smislu razmatra pojmove prostora i vremena, akcidenције, uzroka i posljedice i sl. Iako se većina autora, kada govore o Hobbesovu matematičkom učenju, referira na treći dio spisa *O tijelu*, nama će daleko relevantniji biti temeljni pojmovi razlučeni u drugom pasusu jer nam je u interesu prikazati na koji je to način Hobbes uspio postaviti temelje matematike u čovjekovu iskustvu.

U sedmoj glavi spisa *O tijelu*, Hobbes je tvrdio da imamo dva moguća izvora znanja: znanje iz osjetila i znanje iz sjećanja o onome što je bilo u osjetilima, pri čemu je razlika između ove dvije vrste vrlo mala, da gotovo ni nema razlike u vrsti predmeta spoznaje.

»Ako brižljivo razmotrimo što činiti kada razmišljamo i rezoniramo, naći ćemo da, makar i sve stvari u svijetu ostale, mi i dalje ne računamo ni s čim drugim do s osobnim fantazmama.«¹³

Prve fantazme koje Hobbes spominje toliko su manifestne da ne zahtijevaju posebno objašnjenje: riječ je u prostoru i vremenu.

»Prostor je fantazma stvari koja prosto postoji bez uma.«¹⁴

»Vrijeme fantazma o onome prije ili poslije u kretanju.«¹⁵

Već iz postuliranja ovih osnovnih pojmova, Hobbes se direktno usmjerava prema matematičkim znanostima. Prije svega, on na pomalo sofisticirani način dolazi do fundamentalnog pojma o »jednom«. Ako, naime, fantazmu prostora razmatramo naspram drugih predstava prostora, uočavamo da su oni *jedno* (te isto), a identičan rezon može se uspostaviti kroz razmatranje predstava vremena. Iz tog »jednog« potom se lako dobivaju brojevi, na osnovu kojih Hobbes dalje izvodi druge matematičke termine, kao što su cjelina, dio, konačno, beskonačno i tako dalje.

Ovim Hobbes još uvijek nije konstituirao učenje o matematici jer pretežno nedostaju određenja osnovnih operacija. Indikativno je, onda, da je sljedeći pojam koji Hobbes uzima u razmatranje pojam »tijela« i upravo će se tu u osmoj glavi ustanoviti osnove za njegovo shvaćanje matematike. Za početak, on je tijelo definirao kao

»... ono što ne zavisi od naših misli a što koincidira ili koekstendira s nekim dijelom prostora.«¹⁶

Iako možemo naslutiti cirkularnost koja se krije iza ovog određenja, u ovom je trenutku bitno prepoznati da Hobbes tijelo ne stavlja u fantazmu prostora, nego ga postavlja kao »koincidentnog« s njime. Takvo tijelo tada je subjekt za različite akcidenције koje mogu na njemu stajati, a koje bi bile dostupne našim spoznajnim sposobnostima. Ono što svako tijelo nužno mora imati je protegnutost, a ta protegnutost je ono što zovemo njegovom »veličinom« ili »realnim prostorom«. Ovdje je Hobbes udario temelje jedne veoma značajne distinkcije: naime, za razliku od dotadašnjeg shvaćanja prostora kao predstave ili fantazme, ova veličina tijela ni na koji način ne ovisi o našoj spoznaji. Ako je imaginarni prostor efekt naše uobrazilje, ova je veličina onda njegov uzrok. U cilju boljeg razumijevanja, Hobbes uvodi pojam »mjesto«, pri čemu je ono imaginarni prostor koji koincidira s veličinom tijela, a mjesto i veličina stvari koja ga zauzimaju se razlikuju.¹⁷ Prije svega, veličina je konstantna karakteristika tijela, čak i pri kretanju, dok je mjesto nešto što se prilikom kretanja

tijela mijenja. Mjesto je lažna protegnutost, veličina je istinska protegnutost; mjesto je samo fantazma, dok je veličina akcidencija svakog tijela:

»... mjesto je ništa izvan uma, a veličina nije ništa u umu.«¹⁸

Kakve veze imaju ova Hobbesova razmatranja o svojstvima tijela s elementima matematike? Stvar je u tome što se brojni osnovni matematički termini određuju točno kroz spomenuta svojstva. Naime, ako se neko tijelo kreće, a mi pri promatranju tog kretanja zanemarimo veličinu tog tijela, ono će opisati *liniju*; prostor kroz koji je to tijelo prošlo je *dužina*, a samo tijelo razmatrano bez svojstva veličine je – *točka*. Jasno je da se na sličan način, kretanjem uz dužinu, formira *širina*, zahvaća se *površina*, a kretanjem uz širinu i dužinu dobivamo *debljinu* ili *dubinu* te se pritom zahvaćaju *geometrijska tijela*. Ustanovljavanje dimenzija ovdje je, pak, samo polovina posla, a za Hobbesa je neophodno položiti račun o tome kako se ove dimenzije mogu determinirati, to jest, kako da se iz njih dobiju kvalitete i kvantitete. On smatra da se količine mogu utvrditi samo na dva načina: osjetilima ili sjećanjem, pri čemu je za osjetila neophodno da dimenzija bude dana, a u sjećanju se uspoređuje s nekom drugom, koja opet i sama mora biti dana. Za Hobbesa, brojevi nam bivaju dani pomoću prostih točaka koje se daju izbrojati imenima, a već smo spomenuli da geometrijski elementi bivaju dani kroz kretanje, a isto vrijedi i za vrijeme:

»Vrijeme, koje je fantazma kretanja, ne može se razmatrati drugačije nego preko nekog danog kretanja.«¹⁹

Iz mogućnosti da se na ovaj način odrede kvantitete kao determinirane na dimenzije, Hobbesu je lako demonstrirati izvođenje osnovnih matematičkih relacija kao što je »veće« i »manje« te uspostaviti osnovne zakonitosti odnosa preko identiteta, razlike i proporcije.

Iako Hobbes na mnogim mjestima ostaje nedorečen, a nerijetko zapada u probleme s uzajamnim definiranjem fundamentalnih termina, iz ove rudimentarne skice možemo uvidjeti bar dvije značajne stvari. Prva je da Hobbes nesumnjivo uzima osjetilno iskustvo ne samo kao izvor matematičke spoznaje nego i kao krajnja domena važenja matematičkih istina. Riječima Christophera Smeenka izrečeno:

»Hobbesova materijalistička matematika nije ostavila prostora za distinkciju između 'čiste' i 'primijenjene' matematike: stvarna tijela i njihova svojstva pravi su predmetni sadržaj matematike.«²⁰

Druga je značajna stavka koju vrijedi prepoznati da u Hobbesovu neprikladnom razlikovanju mjesta, prostora i veličine možemo prepoznati zametke ide-

13
Thomas Hobbes, *The English Works of Thomas Hobbes, Vol. 1: Elements of Philosophy, the First Section, Concerning Body*, John Bohn, London 1839., str. 92.

14
Ibid., str. 94.

15
Ibid., str. 95.

16
Ibid., str. 102.

17
Ibid., str. 105.

18
Ibid.

19
Ibid., str. 113.

20
Christopher Smeenk, »Philosophical Geometers and Geometrical Philosophers«, u: G. Gorham i dr. (ur.), *The Language of Nature*, str. 308–338, str. 310.

je koja će kod Newtona procvjetati u razliku između apsolutnog i relativnog prostora i vremena.

Isaac Barrow drugi je izvor utjecaja koji je Newtona usmjerio u pravcu mehaničko-iskustvenog razumijevanja matematike. Barrow bješe prvi ustoličenik na Lucasovskoj katedri koja je ustanovljena 1663. godine. Njegova predavanja pohađao je mladi Isaac Newton, koji će kasnije i preuzeti ovu katedru od svog učitelja. Opseg u kojem su Barrowova podučavanja utjecala na mladog fizičara najlakše je uočiti iz prvih odjeljaka *Geometrijskih predavanja*, koje ćemo ovom prilikom podvrgnuti analizi.

Geometrijska predavanja Barrow je sačinio kao nastavak uz svoja predavanja iz optike. U predgovoru navodi kako je prvih pet geometrijskih predavanja sastavljeno na inzistiranje izdavača te da ih je on

»... sačinio prije više godina, ali bez namjere da budu objavljena i tako bez brižljivosti koju zahtjeva takva namjera. Napisana su nespretno i zbrkano; ne sadrže ništa definitivno, niti išta što je izvan umijeća i razumijevanja početnika, za koje su napisana.«²¹

Barrow čak preporučuje da čitaoci koji su vičniji geometriji preskoče navedene lekcije jer je njihov sadržaj odveć *trivijalan*. Kurs koji Barrow izvodi u Cambridgeu nije osnovni kurs geometrije, tako da je on podrazumijevao dobro poznavanje kako klasičnih matematičkih tekstova, tako i nešto skorijih učenja, kao što su Galileova. Doista, u prvim lekcijama određuju se fundamentalni geometrijski elementi kao što su veličina, krivulja, tangente, normale. Međutim, pronalazi se i nekoliko odredbi koje iz euklidovske tradicije ne bismo povezali s geometrijskim učenjem, kao što su kretanje i brzina. Nas ovom prilikom upravo interesiraju ovi mehanički elementi u geometriji, utoliko prije što ih je Barrow uklopio kroz ova »trivijalna« predavanja.

U prvom predavanju, Barrow počinje od termina »veličine«. Ne definira ga jer se pretpostavlja da je odredba veličine usvojena prilikom osnovnih proučavanja geometrije, a od nje se polazi iz razumljivih razloga, zato što je matematika i, specifičnije, geometrija tradicionalno shvaćana kao oblast znanja koja se bavi veličinama. Za veličine je značajno to što se one mogu proizvesti ili se bar mogu pretpostaviti kao da su proizvedene na nebrojeno različitih načina te ne postoje veličine koje se ne mogu proizvesti. Nešto kasnije, u drugoj lekciji, Barrow će napomenuti da

»Matematičari nisu ograničeni na stvarni način kojim je veličina proizvedena; oni pretpostavljaju bilo koji način proizvođenja koji najbolje odgovara njihovim svrhama.«²²

Prvo što se iz ovih tvrdnji uočava jest da se veličine promatraju kao realni entiteti, čim mogu imati »stvarni način« kojim su proizvedene. Drugo bitno zapažanje tiče se toga da se »proizvođenje« ne može izjednačiti s »konstrukcijom«. Naime, iako je otvoreno i neodređeno pitanje ima li se »konstrukcija« kod Barrowa razumjeti kao jedan vid »proizvođenja«, definitivno je da »proizvođenje« obuhvaća mnogo više te da se može odnositi na bilo kakav geometrijski entitet, a ne samo onaj koji se konstruira uz upotrebu odgovarajućih unaprijed definiranih parametara matematičkog problema.

Najbitniji način proizvođenja veličina je »lokalno kretanje«, a da bi se ikakvo kretanje moglo znati, neophodno je poznavati način kretanja i količinu pokretačke sile. A da bi se mogla znati količina pokretačke sile, neophodno je poznavati prostor i, još više – vrijeme. U ovom trenutku Barrowljeva predavanja iz geometrije više počinju nalikovati predavanju iz fizike i mehanike jer on prelazi u prilično opsežno razmatranje toga na koji način nam je vrijeme spoznatljivo. Naime, za njega:

»Vrijeme ne označava stvarno postojanje, nego izvjestan kapacitet ili mogućnost za kontinuitet postojanja«²³

Vrijeme po sebi ne podrazumijeva aktualno kretanje niti mirovanje, nego podrazumijeva to da je *samo kretanje* izmjerivo. Barrow smatra da je kretanje razlog na osnovu kojeg mi uopće percipiramo protok vremena, iako to ne znači da vrijeme ne postoji kada ga ne opažamo. Vrijeme je zapravo ona komponenta stvarnosti koja jamči da se u šarolikosti prolaznih događaja može uspostaviti stabilna, univerzalna i nepromjenjiva struktura sekvencijalnosti – to je uniformni protok vremena i ono što daje smisao ideji izmjerivosti vremena. Međutim, ta izmjerivost ne povlači sa sobom i podrazumijevan način mjerenja. Kada se govori o ravnomjernom protoku vremena, kaže Barrow, često se ta ideja povezuje s kretanjima nebeskih tijela. Ali, ta su kretanja toliko daleka, da ne kažemo toliko strana čovjeku, da Barrow u njima ne vidi nikakvu garanciju uniformnosti; čak štoviše, on će tvrditi da o ravnomjernosti nebeskih kretanja znamo samo na osnovu toga što smo ih izmjerili nekim drugim instrumentom u čiju smo ravnomjernost pri kretanju potpuno uvjereni. Iako ih ovdje ne spominje poimence, izvjesno je da Barrow time cilja na klatna, mehaničke satove, klepsidre, bilo kakve složene ili, poželjnije, jednostavne strojeve koji u svoje operiranje uključuju periodično kretanje. Iz ovakvog komentara možemo bez ikakve sumnje zaključiti to da za Barrowa neposredno iskustvo s mehaničkim kretanjem igra veliku ulogu u formiranju geometrijskog znanja. Činjenica da se uniformnost vremena bolje prepoznaje u priručnim, svakodnevnim (iako vjerojatno nesavršenim) aparatima, nego u preciznim, ali dugotrajnim i udaljenim kretanjima nebeskih tijela ukazuje na to da proces usvajanja istina o veličinama ovisi, prije svega, o običnom iskustvu.

Nakon uspostavljanja razloga poznavanja ravnomjernog protoka vremena, te time mogućnosti da se kretanje izmjeri, Barrow je konstatirao da vrijeme ima mnoge paralele s ravnom ili kružnom linijom: posjeduje dužinu, protegnutost, istovjetno je u svim svojim dijelovima; može se shvatiti kao da je sačinjeno jednostavnim dodavanjem zastupnih instanci te kao da je sačinjeno ravnomjernim tijekom jedne instance. Uslijed toga, pravci i kružnice odličan su način za predstavljanje vremena. Na isti način, nastavlja Barrow, može se predstaviti i ranije spomenuta količina pokretačke sile, s tim što je za njeno poznavanje, pored komponente vremena, neophodna i komponenta prostora.

»Kada je vrijeme predstavljeno razdaljinom, pokretajuća sila je isto što i brzina.«²⁴

Barrow je na ovaj način direktno povezoao tri odredbe: prostor, vrijeme i brzinu, a to je prilično nestandardan sadržaj za prvo predavanje iz geometrije.

Tek se u drugom predavanju pokazuje koji je konačni smisao ovih odredbi. Naime, poznavanje vremena, prostora i brzine u predstavljačkom okviru preko linija i kružnica esencijalno je za poznavanje kretanja, a kretanje je, kako smo rekli, najbitniji način proizvođenja veličina. Kretanje, pak, može biti jednostavno, složeno ili konkurentno, ali Barrow već bijaše napomenuo da matematičari imaju puno pravo da se u svojoj djelatnosti koriste onim vidom za koji smatraju da je najpogodniji. Najzad, postavlja se sasvim smisljeno pitanje

21
Isaac Barrow, *The Geometrical Lectures*, The Open Court Publishing Company, Chicago 1916., str. 27.

22
Ibid., str. 42.

23
Ibid., str. 35.

24
Ibid., str. 37–38.

– kada se govori o kretanju, to je kretanje čega? Barrow ne daje jednoznačan odgovor na ovo pitanje iz jednostavnog razloga što predmet kretanja u ovom slučaju može biti bilo što, pa čak i najprostiji entitet, ono što po definiciji nema dijelove – točka. Sad postaje izvjesno da će geometru od najvećeg interesa biti upravo kretanja jednostavnih entiteta, čime se prelazi na genezu geometrijskih elemenata.

Na primjer, ako razmatramo jednostavno kretanje, ono može biti translatorno ili rotacijsko. Kada zamišljamo točku kako se ravnomjerno kreće pravcem, mi za nju kažemo da opisuje pravu proizvoljne dužine. Efektivno, pretpostavljanjem ovakvog kretanja mi smo manje-više pretpostavili drugi Euklidov postulat, taj da se dužina može proizvoljno produžiti u pravcu. Ali, ne mora točka biti jedini pokretni element. Barrow tako ilustrira da se prava linija može ravnomjerno kretati po nekoj drugoj liniji vodilji, u kojem slučaju može proizvesti nekoliko geometrijskih entiteta: ako je cjelokupno kretanje ograničeno na jednu ravninu, rezultat će biti paralelogram, a ako se prostire kroz više ravnina, dobivamo prizmu ili valjak. S druge strane, kružna kretanja sličnim rezonom proizvode krugove, prstene te razna druga geometrijska tijela.

Vrijedi naglasiti da Barrow pruža shvaćanje matematike i geometrije koje je manje strogo fizičko nego što je to slučaj s Hobbesom. Za Barrowa

»... doprinos čulnosti ograničen je na ustanovljavanje da geometrijski postulat odlikava realnu mogućnost.«²⁵

Nažalost, njegovi opisi proizvođenja geometrijskih elemenata pomoću točke i kretanja nisu idealni; nisu dovoljno smisleni i precizni i, naravno, nisu uopće iscrpni po pitanju mogućih elemenata. Ali, zamisao ovih prvih lekcija nije ni bila u tome da se taksativno navedu načini proizvodnje svih geometrijskih oblika. Uostalom, tih načina proizvodnje postoji nebrojeno i matematičaru je svaki od njih potencijalno koristan. Pravi smisao ovih geometrijskih geneza bio je u demonstriranju općeg načina kojim se iz jednostavnih spoznaja ravnomjernog kretanja mogu proizvesti svi geometrijski entiteti. Ova vještina nije samo uputa za zamišljanje i predstavljanje geometrijskih figura u glavi, ona se tiče i stvarnog svijeta u kojemu planete svojim kretanjem opisuju elipse, a klatna opisuju odsječke kružnice. Geometrijski elementi prisutni su i u takvim procesima te se zapravo iz takvih procesa i spoznaju. Kasnije ih možemo urediti u sistem dobro definiranih termina s minimalnim brojem aksioma i postulata, ali način na koji to znanje izlažemo ne mijenja situaciju iz koje je to znanje poteklo. Uslijed toga, ova su prva predavanja za Barrowa početnička jer tko god da je stupio u napredna proučavanja matematike, morao se upoznati s osnovnim elementima, a do njih se nije moglo doći drugačije nego ovako. Sada je vrlo lako uvidjeti kako je Newton na gotovo istom tragu sa svojom racionalnom mehanikom.

Newtonova racionalna mehanika

Isaac Newton iznio je svoj pojam racionalne mehanike u samom predgovoru *Matematičkih principa prirodne filozofije*. Izdvajam sljedeći navod:

»Jer se i crtanje pravih linija i krugova, na čemu se zasniva geometrija, tiče i mehanike. Geometrija ne podučava kako se povlače ove linije, ona to zahtjeva. (...) Geometrija se, stoga, zasniva na djelovanju mehanike i nije ništa drugo do onaj dio opće mehanike koji precizno izlaže i demonstrira vještinu preciznog mjerenja.«²⁶

Na ovom mjestu on je gotovo besprijeekorno ponovio učenje koje su zastupali i njegov učitelj Barrow i znameniti Hobbes. Točnije, prije nego što može po-

stojati geometrija, mora biti zadano ono što je predmet geometrije. Za Newtona, dakako, geometrija proučava mjerenje i sve protegnute stvari, a danost tih protegnutih stvari ipak ne može biti banalna prisutnost jer osjetilima je neposredno dostupan samo relativni prostor. Apsolutni prostor, koji je za Newtona pravi matematički prostor, nije po sebi dostupan osjetilima, a opet – struktura prostora nekako nam mora biti dostupna. Predmet geometrije tako ne može biti bilo kakva fizička stvar jer istine geometrije ne izvode se pukom apstrakcijom, nego ranije spomenutom idealizacijom. Predmeti geometrije konstituiraju se kroz kretanje. Iz prirode, o elipsi znamo ne na osnovu oblutka, nego na osnovu kretanja planeta, a vješta ljudska ruka u stanju je proizvesti ne samo mnogobrojne raznolike obrasce kretanja nego i takve obrasce koji su možda i lakše dostupni spoznaji od onih koji postoje, na primjer, među nebeskim tijelima. Zbog toga će Newtonova verzija učenja – da geometrijsko znanje proizlazi iz iskustva kretanja – imati oblik tvrdnje da mehanika i mehanička vještina stoje u temelju geometrije i da su one dužne proizvesti njezin predmet.

Na vrlo efikasan način Newton je razoružao zamisao geometrije kao znanosti koja se bavi idejama koje postoje odvojeno od nesavršene stvarnosti. Geometrija i dalje ima posla s *idealiziranim* figurama, figurama koje su obrazovane na najbolji način, kakav god on konkretno bio, ali taj najbolji način je i dalje način dostupan i prisutan u ovom nesavršenom svijetu. Savršena preciznost nije ekstrem druge vrste koji je nepostojeći u iskustvu. Postoje manje precizni i više precizni vještaci koji se bave mehanikom, a najsavršeniji i najprecizniji mehaničar nije prazna i nedostižna figura, no teško je dostižan. Još jedan argument da je savršena mehanička preciznost moguća uočava se u Newtonovoj tvrdnji da težina ostvarenja zadane preciznosti nije krivica mehanike, nego onoga koji se mehanikom bavi na nesavršen način. Newton se uslijed svega odlučio pozvati na pojam *racionalne mehanike* kako bi izbjegao moguća nerazumijevanja. Racionalnu mehaniku on određuje kao znanost koja proučava kretanje bez obzira na njegovo podrijetlo, a čije se tvrdnje mogu točno izložiti i dokazati. Drugim riječima, racionalna mehanika bavi se fizičkom pojavom, ali u tom bavljenju ona ima nužnost i preciznost kakve smo navikli očekivati od geometrije. Zbog toga se i naziva *racionalnom*, naima ne zato što je oslobođena iskustva, nego zato što je geometrijska u svom pristupu. Preciznost koja je time garantirana

»...nije direktno otkrivena u iskustvu. Precizan opis podleži iskustvu, ali podležeći kvantitativni opisi se iz posmatranja mogu rekonstruirati samo unutar odgovarajućeg okvira.«²⁷

Na ovaj način osiguran je kontinuitet između geometrije i mehanike, a istovremeno održana zasebnost svake od ovih znanstvenih područja.

Osim u *Principima*, slične pozicije mogu se naći i u drugim Newtonovim tekstovima. Tako, na primjer, među njegovim bilješkama i nedovršenim spisima, može se naći skica za djelo naslovljeno *Geometrija*, u kojemu je napravio uvod u predmetni sadržaj geometrije, vjerojatno u namjeri da od danog teksta napravi priručnik za nastavu. U tekstu se jasno uočava da Newton u pitanjima osnovnih geometrijskih znanja uvijek upućuje na »stare« učitelje kao što je

25

C. Smeenk, »Philosophical Geometers and Geometrical Philosophers«, str. 315.

26

I. Njutn [I. Newton], *Matematički principi prirodne filozofije*, str. 7–8.

27

C. Smeenk, »Philosophical Geometers and Geometrical Philosophers«, str. 310.

Euklid (a izbjegava spominjanje kartezijanskih suvremenika). Pa je tako na samom početku spisa kazao:

»Geometrija niti podučava kako se opisuje ravan niti postulira njen opis, iako joj je to čitav temelj.«²⁸

Pritom valja primijetiti da se pod »opisivanjem« ovdje ne misli samo na navođenje karakteristika nego i na neposrednu konstrukciju nekog geometrijskog identiteta. Sličnu tvrdnju Newton je ranije upotrijebio i u proširenoj verziji teksta *De motu corporum in gyrum*.²⁹ Drugim riječima, u onom dometu u kojemu se geometrija bavi mjerama i veličinama (opet, sasvim u duhu Hobbesa i Barrowa), ona ne pretpostavlja eksplicitno vid podrijetla tih entiteta, nego samo to da se oni na neki način mogu obrazovati. Ako se ne poznaje način formiranja neke figure, ne može se imati ni geometrijsko znanje o njoj. Preciznije rečeno:

»Stoga, i stvaranje predmetnog sadržaja geometrije i proizvodnja njenih postulata pripadaju mehanici. Bilo koja figura u ravnini, stvorena od strane Boga, prirode ili kojeg god majstora hoćete, mjerena je u geometriji pod hipotezom da je precizno konstruirana.«³⁰

Newton je naglasio da je konkretan način konstrukcije figure koja će postati predmetom geometrije potpuno nebitan jer u svakom slučaju mora biti mehanički: to može biti pomoću ravnala i šestara, zategnutog konopca, svjetlosnih zraka, pa čak i putem »neometenog pokreta brižljive ruke«.³¹ Ovo je veoma radikalna tvrdnja jer je suprotna čitavoj tradiciji učenja o geometriji koja tvrdi da u ovom svijetu nema savršenih geometrijskih entiteta. Imajmo na umu da Newton ovdje nije kretao iz platonovsko-euklidovske pozicije pri kojoj su rukom nacrtane figure samo *ersatz*-verzije za idealne likove; ovdje je riječ o obrazovanju entiteta koji će *biti predmet* geometrije, čije mjere i veličine će ulaziti u geometrijska rezoniranja. Newton je bio svjestan mogućnosti spora na ovom mjestu:

»Geometrija postavlja jedinstven zahtjev da oni [entiteti koji su predmet geometrije, *prim. aut.*] budu precizno opisani. Međutim, sada je postalo uobičajeno da se kao geometrijsko smatra sve što je precizno, a kao mehaničko sve za što se pokaže da nije takvo, kao da ništa nipošto ne bi moglo biti mehaničko i u isto vrijeme precizno. Ali to je glupavo uvjerenje (...).«³²

Odmah zatim, Newton je iznio zašto je tome tako, navodeći:

»Ovo uobičajeno mišljenje određuje mehaniku uslijed neznanja i nesavršenosti mehaničara.«³³

Ova konstatacija u potpunosti je usuglašena s tvrdnjom iz predgovora *Principima* u kojoj je Newton iskazao da krivica nepreciznosti ne leži u vještini, nego u djelatniku, a ovom prilikom još jednom je ustanovljen stav po kojem vrijedi napraviti razliku između djelatnosti i djelatnika. Kao i u *Principima*, Newton je razriješio ovo uvriježeno shvaćanje time što je podsjetio na stare učenjake koji su razlikovali ručnu mehaniku od racionalne. Razlika, opet, nije kategorička, nego samo u stupnju preciznosti:

»Racionalni [dio mehanike, *prim. aut.*] nije ništa manje precizan od same geometrije, dok je u manualnom dijelu savršen mehaničar jedino onaj koji s izuzetnom točnošću može izraditi sve po obrascu racionalnog.«³⁴

Ako pokušamo dosljedno razmotriti ovu tvrdnju, uvidjet ćemo da nas ona dovodi do krucijalnog mjesta preklapanja. Naime, Newton je izbjegavao povući ikakve identitete između ovih različitih aspekata – racionalna mehanika je precizna kao i geometrija, ali se ne kaže da je racionalna mehanika isto što i geometrija. Savršeni manualni mehaničar radi po obrascu racionalne mehanike, ali nije *u tom radu* racionalni mehaničar. Međutim, zar ovakvo

postuliranje elemenata nije samo nepotrebno umnožavanje entiteta? Daleko elegantnije rješenje bilo bi da je Newton ovdje racionalnu mehaniku nazvao imenom primijenjene geometrije ili bar da je, kao u predgovoru *Principima*, geometriju imenovao kao posebnu oblast mehanike. Ipak, donekle je jasno zbog čega je podvođenje geometrije pod mehaniku prihvatljivije od obrnutog postupka. Pojam primijenjene geometrije implicira prvotnost geometrije u odnosu na mehaniku, a vidjeli smo da je Newton na tragu Hobbesa i Barrowa zauzeo drugačiji stav. Smeenk argumentira na sličan način:

»Geometrija i racionalna mehanika su tako obje egzaktne znanosti sa zajedničkim predmetom: geometrija mjeri osobine predmeta čije je proizvođenje opisano mehanikom. Čini se prigodnijim to nazivati fizikalizacijom geometrije nego matematizacijom proučavanja kretanja.«³⁵

Konačno, potvrdu tih tvrdnji, ali i isticanje prave razlike između mehanike (uopće) i geometrije, Newton je iznio rekavši da su to oblasti koje se ne razlikuju po preciznosti, nego samo po upotrebi i disciplini koja se u zadanoj upotrebi traži.³⁶

Konačni moment koji je u ovom trenutku neophodno naglasiti jest faktor po kojem se Newtonovo shvaćanje geometrije i matematike odvaja od Hobbesova i Barrowova, a za demonstriranje navedenog neophodno se opet pozvati na termine apsolutnog i relativnog prostor-vremena. Prisjetimo se da je apsolutno vrijeme isto što i matematičko vrijeme te da je jedna od njegovih osnovnih karakteristika to da »po sebi i po svojoj osobnoj prirodi teče ujednačeno bez obzira na bilo što vanjsko«,³⁷ dok je relativno vrijeme opažajna i vanjska mjera. Odnosno, prostor dobiva slične odredbe, gdje je bitno da apsolutni prostor ostaje istovjetan bez obzira na bilo što vanjsko, dok je relativni prostor »svojevrсна pokretna dimenzija ili mjera apsolutnih prostora koji naša čula određuju prema njegovom položaju u odnosu na tijela«. ³⁸ John Earman ističe da se iz ovih odredbi apsolutnosti može iščitati teza da vrijeme i prostor po sebi posjeduju objektivnu strukturu koja ostaje nepromjenjiva, uslijed čega se za apsolutni prostor i vrijeme može reći da posjeduju supstancijalnost.³⁹ Pritom, to nije izjednačavanje prostora s materijom, niti prostornih figura s materijalnim tijelima:

28

Isaac Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton, Volume VII 1691–1695*, Cambridge University Press, Cambridge 1976., str. 287.

29

Isaac Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton, Volume VI 1684–1691*, Cambridge University Press, Cambridge 1974., str. 261.

30

I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton, Volume VII 1691–1695*, str. 289.

31

Ibid.

32

Ibid.

33

Ibid.

34

Ibid.

35

C. Smeenk, »Philosophical Geometers and Geometrical Philosophers«, str. 314.

36

I. Newton, *The Mathematical Papers of Isaac Newton, Volume VII 1691–1695*, str. 291.

37

I. Njutn [I. Newton], *Matematički principi prirodne filozofije*, str. 16.

38

Ibid.

39

John Earman, *World Enough and Space-Time*, MIT Press, Cambridge 1989., str. 116.

»Matematičke točke ne tretiraju se kao fizičke čestice s fizičkim osobinama izvedenim iz promatranih tijela.«⁴⁰

Ali, ako su osjetilima dostupni samo relativni prostor i relativno vrijeme, a temelji geometrije moraju biti postavljeni mehanikom – kako nam je ikakvo znanje o apsolutnom prostoru i apsolutnom vremenu dostupno? Indikaciju odgovora možemo naći u jednom kratkom Newtonovu obrazloženju:

»U astronomiji se apsolutno vrijeme razlikuje od relativnog pomoću jednadžbe ili korekcije uobičajenog vremena. Jer, prirodni dani su istinski nejednaki, iako se uobičajeno shvaćaju jednakim i koriste se za mjerenje vremena. Astronomi ispravljaju ovu nejednakost za njihova preciznija mjerenja nebeskih kretanja.«⁴¹

Drugim riječima, s obzirom na to da svako mjerenje vremena zahtjeva nekakvo ponavljajuće kretanje, a svako ponavljajuće nije idealno identično (periodično) u svakom ciklusu, smisleno je da će se preciznija mjerenja, to jest mjerenja zasnovana na periodičnim kretanjima koja su uniformnija, koristiti za korigiranje onih manje preciznih. Vjekovna mudrost kazuje da je kretanje Sunca, zvijezda lualica, a pogotovo kretanje zvijezda nekretnica uvijek uniformnije, idealnije periodično od, recimo, kretanja utega na klatnu. Iako Newton nije eksplicitno spominjao korekcije prostornih mjerenja, nema razloga da mislimo da bi, vezano uz prostor, slučaj bio išta drugačiji od slučaja vremena. Uostalom, putanje koje opisuju kretanja nebeskih tijela nekad su vrlo jednostavne figure, nekad malo složenije, ali uvijek znatno jednostavnije (te i predvidljivije) od putanja koje zatičemo priručno. Trivijalno je konstatirati da se preciznija mjerenja koriste za korekciju manje preciznih, ali Newton je u prethodno citiranoj rečenici implicirao mogućnost apsolutno preciznog mjerenja u tome što je konstatirao da se korekcija razlike može ustanoviti »jednadžbom« – matematičkim računom, dakle, pomoću apsolutnog vremena (i prostora). Apsolutno vrijeme je ono u kojem se odvijaju sva relativna vremena, apsolutno vrijeme je karakterizirano uniformnim tijekom, što znači da u svakom relativnom vremenu mora moći bar u pretpostavci postojati nekakva struktura uniformnog tijeka. Proporcionalno, apsolutni prostor je onaj koji u sebi sadrži sve relativne prostore te je za očekivati da će osnovna struktura protegnutosti bar u pretpostavci biti prisutna i u svakom relativnom prostoru, tako da će u svakom od njih postojati nekakav opće važeći referentni sistem struktura. Ako je naša geometrija u stanju da u relativnim prostorima pronade te univerzalne, ponavljajuće referentne strukture, onda je dosljedno reći da je ona istovremeno utemeljena u spoznaji kretanja preko relativnog prostora, a i dalje matematična jer ima pristup apsolutnom prostoru. Time nam je zagarantirana spoznajna veza između relativnog i apsolutnog prostora koja je neophodna da bi pojam apsolutne preciznosti mogao ostati izvodiv ideal, a fizički zakoni upravo univerzalni zakoni sistema svijeta.

Zaključak

Razmotrimo stroge definicije: racionalna mehanika bavi se kretanjem bez obzira na sile koje su dovele do tog kretanja (apstrahiranjem od svih mogućih sila, ne samo onih koje neposredno djeluju na jedno tijelo), a geometrija se bavi oblicima bez obzira na to kojim su kretanjem oni proizvedeni. S obzirom na to, kretanja koja razmatra racionalna mehanika proizvodi oblike koji su idealno geometrijski oblici. Racionalna mehanika tako se i dalje bavi osjetilnim, relativnim prostorom, ali uslijed zanemarivanja neposrednih uzroka kretanja, ona te pokrete može razložiti na jednostavne konstituente,⁴² a ti jed-

nostavni konstituenti razmatrani geometrijski više nisu relacije u relativnom prostoru, nego su univerzalni, postojani odnosi koji karakteriziraju apsolutni prostor. Na taj način geometrija ima pristup matematičkom prostoru, a preko relativnog prostora i kretanja. Odstranjivanjem pojma sile kao uzroka kretanja, racionalna je mehanika u stanju izvršiti idealizacije kojima dolazi do jednostavnih kretanja u relativnom prostoru, ali čije putanje izražavaju relacije koje su prisutne pri mnogobrojnim različitim kretanjima. To znači da te relacije ne ovise o pojedinačnim relativnim prostorima niti konkretnim mjerama, nego su kao ponavljajuće referentne strukture zapravo strukture apsolutnog prostora za čije je poznavanje zadužena geometrija. U sličnosti s ranije spomenutom korekcijom u kojoj se astronomskim računom korigira opažanje vremena, možemo naslutiti da i geometrija i racionalna mehanika, s jedne strane, omogućavaju korigiranje nedovoljno preciznih praktičnih mjerenja, a s druge strane, i još bitnije – mogu nas dovesti do podjednako preciznih i definitivnih znanja o realnim fizičkim procesima, to jest, kretanju s obzirom na realne uzroke – sile. Ovo je i konačni pokazatelj da Isaac Newton matematički principe smatra inherentnima prirodi.

Ovakvo razumijevanje Newtonova učenja daje nam dodatno potkrepljenje našem ranijem objašnjenju zbog čega je ovo djelo, iako je podrazumijevano rezultatom eksperimentalne filozofije, ipak sastavljeno u geometrijskoj formi. Uzmemo li u obzir spomenuto razumijevanje geometrije, tada temeljna teza o matematičkom ustrojstvu prirode više nije samo pretpostavka. Ukazujući na to da se geometrijski postulati mogu proizvesti samo putem mehanike, to jest, da je fundament geometrijskog znanja znanje koje dobivamo iz opažanja kretanja, Newton je dao genetičko jamstvo da potonje geometrijsko znanje, koje se klasičnim deduktivnim sredstvima bude izvelo iz tih postulata, može imati primjenu i važenje u fizičkom svijetu – svijetu kretanja. Upravo takav postupak zatječemo u *Principima*, gdje nakon dvije knjige istraživanja geometrijskih zakonitosti, Newton dotična znanja primjenjuje kako bi mogao izvesti istinite zaključke o načinu uređenja svjetske zgrade te time pruži obuhvatni sistem svijeta. Ovakvom razumijevanju može se uputiti prigovor da, na prvi pogled, djeluje kao da je Newton implicirao da je geometrijsko/matematičko znanje zapravo u potpunosti reducirano na mehaničko znanje. Ipak, ova primjedba ne stoji jer geometrija ovdje nije postala mehanička – ona ima samo mehaničke izvore. Prema razumijevanju Edwarda Stronga, kod Newtona najbolje možemo govoriti o svojevrsnom

»... ‘matematičkom putu’ koji obuhvaća i eksperimentalna istraživanja i demonstracije iz principa, to jest, iz zakona ili teorema koje su ustanovljene istraživanjem.«⁴³

40

Edward W. Strong, »Newtonian Explications of Natural Philosophy«, *Journal of the History of Ideas* 18 (1957) 1, str. 49–83, str. 52. doi: <https://doi.org/10.2307/2707579>.

41

I. Njutn [I. Newton], *Matematički principi prirodne filozofije*, str. 17.

42

Jedino racionalna mehanika i može analizirati jedinstveno složeno kretanje na pojedinačne komponente (i to u skladu s korolarima na zakone kretanja) jer je ona u svom pristupu i dokazivanju matematička, a rezultat takvih

analiza jedino su matematički entiteti. Ručna mehanika nema praktičnu metodu analize fizičkog kretanja jer ma koliko komplicirano ono bilo, ono je kao fizičko naprosto dano.

43

Edward W. Strong, »Newton’s ‘Mathematical Way’«, *Journal of the History of Ideas* 12 (1951) 1, str. 90–110, str. 91. doi: <https://doi.org/10.2307/2707539>.

Sama matematička analiza, ako i počinje u mjerenju, poslije ne zahtjeva nikakvo upućivanje na prirodu.⁴⁴

Uvidi o značaju i podrijetlo ideje racionalne mehanike kod Newtona, međutim, samo djelomično rasvjetljavanju veoma složenu strukturu matematičkog učenja koja je prisutna u njegovoj eksperimentalnoj filozofiji. Otvorenim je i dalje ostalo pitanje koja je točna priroda matematičkih entiteta koji se dobivaju na taj način. Uočljivo je da među Newtonovim nastavljačima nije bilo jedinstvenog konsenzusa oko načina provođenja ovakve doktrine. Tako se njegov učenik John Keill u svojim tekstovima »oslanjao na unaprijed uspostavljenu harmoniju po kojoj rezoniranja uma u matematici vrijede i za fizička tijela«. ⁴⁵ Keill eksplicitno tvrdi:

»Samim tim ako za tijelo možemo pretpostaviti da postoji, onda nužno slijedi za geometrijske površine, linije i točke da su ne samo kao moguće nego i da su stvarno postojeće.«⁴⁶

Nasuprot ovakvom razumijevanju stoje drugi Newtonovi sljedbenici, kao što je, primjerice, Henry Pemberton, a koji su zastupali konceptualistički stav.⁴⁷ Pemberton u svom pregledu Newtonove prirodne filozofije kaže:

»Dokazi u prirodnoj filozofiji ne mogu biti apsolutno konkluzivni kao u matematici. Jer su predmeti ove znanosti čisto ideje naših osobnih umova. Oni mogu našim osjetilima biti predstavljeni materijalnim predmetima, ali sami su proizvoljni proizvodi naših misli.«⁴⁸

U suvremenim razmatranjima, ovaj problem poprimio je oblik pitanja: je li Newtonova pozicija bliska matematičkom konstruktivizmu?⁴⁹

Još atraktivnije pitanje postavlja se s obzirom na ideju savršene preciznosti u bavljenju racionalnom mehanikom, ali i znanšću uopće. Newtonova pretpostavka, da je moguće vršiti apsolutno precizna mjerenja i matematičke konstrukcije zahtjeva posebnu tematizaciju u odnosu spram pojma znanstvene istine i greške u znanstvenoj spoznaji. Uostalom, posljednja knjiga Newtonovih *Matematičkih principa prirodne filozofije* posvećena je konačnom proiznošenju sistema svijeta i usredotočuje se na ispunjavanje sviju matematičkih propozicija konkretnim sadržajem uz pomoć specifičnih *fenomena* i *pravila rasuđivanja*, a što zahtjeva dodatnu metodološku i epistemološku interpretaciju. Iako Newton nikad nije artikulirao definitivnu filozofiju znanosti, to ne znači da se njegova pozicija po tipičnim pitanjima filozofije znanosti ne može rekonstruirati iz njegovih prirodno-filozofskih tekstova. U svakom slučaju, činjenica da se geometrijsko znanje, a time i cjelokupno znanje filozofije prirode zasniva na mogućnosti idealizacije figura iz realnih kretanja po obrascima racionalne mehanike – predstavlja značajan moment u budućem rješenju ovog zadatka.

Goran Rujević

Idealizing Space in Newton's Rational Mechanics

Abstract

Axiomatic method of exposition in Isaac Newton's Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica at first seems to go against his experimental approach. However, the geometric method of this work is necessary for forming a scientific system of the world, a world that is inherently mathematical in its full framework. This mathematical character is neither Platonist nor approximative but rather founded on the possibility of idealizing geometric figures and proportions from physical motion. Following the ideas of Thomas Hobbes and Isaac Barrow, Newton had posited a kind of rational mechanics with the goal of bridging the gnoseological gap between absolute and relative space (and time), thereby enabling a universal natural philosophy, a precursor to the science of physics. Such rational mechanics implies the possibility of conducting perfectly precise constructions and measurements.

Key words

absolute/relative space, geometry, motion, Isaac Newton, rational mechanics

44

Ibid., str. 107.

45

E. W. Strong, »Newtonian Explications of Natural Philosophy«, str. 64.

46

John Keill, *An Introduction to Natural Philosophy*, M. Senex, W. Innys, T. Longman i T. Shewell, London 1745., str. 23.

47

E. W. Strong, »Newtonian Explications of Natural Philosophy«, str. 65.

48

Henry Pemberton, *A View of Sir Isaac Newton's Philosophy*, S. Palmer, London 1728., str. 23.

49

Mary Domski, »The Constructible and the Intelligible in Newton's Philosophy of Geometry«, *Philosophy of Science* 70 (2013) 5, str. 1114–1124, str. 1121. doi: <https://doi.org/10.1086/377393>.