

Ivica Martinović

Temeljna dedukcija

Boškovićeve

filozofije prirode

Iz perspektive ranih Boškovićevih rasprava

Na početku Boškovićeva remek-djela *Theoria philosophiae naturalis* stoje dvije nosive tvrdnje.¹ Prema prvoj Bošković je g. 1745., a to znači u raspravi *De viribus vivis*, izgradio vlastitu teoriju silâ koje djeluju u prirodi, i to tako što je iz vrlo poznatih principa (*e notissimis principiis*) izvodio posljedice, niz posljedica jednih iz drugih (*alia ex aliis consecretaria*). Prema drugoj tvrdnji Bošković je uvažavajući Leibnizove i Newtonove tekovine uspio izgraditi teoriju koja se razlikuje od Leibnizova i Newtonova sustava, i k tome je neizmjereno jednostavnija (*in immensum simplicius*) od njih. Takve tvrdnje pokreću pitanja: Koji su to vrlo poznati principi koje je Bošković upotrijebio u izgradnji vlastite teorije prirode a koji pripadaju razdoblju bujanja Boškovićevih izvornih ideja počevši od 1745. pa sve do 1758. godine? Kako je uporabom izabranih principa nastao uzastopni niz posljedica, niz koji tvori prvi obris Boškovićeve teorijske fizike? Što jamči da Bošković tumači prirodu na neizmjereno jednostavniji način od Leibniza i Newtona? Da li Boškovićevo tumačenje postavlja specifične zahtjeve pred matematički instrumentarij?

Pitanja: *s kojim polazištem? kako? uz koje uvjete? kojim sredstvima? s kojim implikacijama?*, kad razmatraju znanstveno djelovanje, pripadaju među ključna pitanja filozofije znanosti. Zato takva pitanja, postavljena s onu stranu neposrednog žara Boškovićeve znanstvenog stvaranja, s onu stranu Boškovićeve doprinosa egzaktnim i primijenjenim znanostima, otvaraju raspravu o filozofiji znanosti Ruđera Josipa Boškovića. U tom smislu vrijedi uspoređivati Boškovićeve historio-grafske bilješke koje sadrži *Theoria* s misaonim tokom u ras-

¹ R. BOŠKOVIĆ, *Theoria philosophiae naturalis* (= TPhN), Venetiis 1763, n. 1.

pravama koje su nastale tijekom trinaestogodišnjeg rada na teoriji prirodne filozofije, odnosno vrijedi prosuđivati Boškovićeve autokarakterizacije misaonog razvoja u razdoblju rimske profesure 1740. — 1760. godine. Tako vrijedi postupiti osobito zbog toga što se geneza i sistematsko izlaganje jedne znanstvene teorije umnogome razlikuju. Sistematsko izlaganje znanstvene teorije pretpostavlja genezu i njezin ishod: postojanje cjelovitog sustava. Pritom je moguće da poneki element sustava ne bude prikazan onako reljefno ili onako neposredno kako je obrađen ili tumačen u trenutku nastanka, naprosto zbog predviđenog položaja unutar sustava i naknadnog prevrednovanja. Moguć je i protivan slučaj: da element sustava u sklopu sistematskog izlaganja produbi dotadašnje ili poprimi novo značenje. Geneza znanstvene teorije upravo je onaj dinamički stvaralački napor kojim se dospijeva do konzistentne cjeline i u tom se naporu ponajviše očituje koliko su djelotvorne ključne sastavnice znanstvenog istraživanja: principi, zakoni, postupci dokazivanja i provjeravanja, primjenjivost teorije na pojedine slučajeve. Boškovićeva *Theoria* je baš takav primjer konačnog, sistematski izloženog ishoda poslije kojeg su slijedile naknadne misli koje nisu sadržavale korjenite promjene sustava, a geneza je u njoj uočljiva po Boškovićevim pozivanjima na rezultate iz ranije objelodanjenih rasprava. Napokon, Bošković je sâm uviđao razliku između geneze i sistematike znanstvene teorije, jer je u kazalu *Theoriae* jasno razlikovao izlaganje (*expositio Theoriae*) od prigode pronalazjenja, uređenja i analitičke dedukcije iste teorije (*occasio inveniendae, et ordo, ac analytica deductio inventae Theoriae*).²

Pokušat ću stoga utvrditi i obrazložiti temeljnu dedukciju Boškovićeve filozofije prirode, odlučnu za Boškovićev doprinos teorijskoj fizici. Ali, u skladu s istaknutim razlikovanjem geneze i sistematskog izlaganja znanstvene teorije, neću je istraživati iz perspektive Boškovićeva glavnog djela, kao što su dosad postupali mnogi istraživači Boškovićeva znanstvenog i filozofskog djela, nego iz perspektive onih Boškovićevih djela u kojima se osnovni principi Boškovićeva mišljenja po prvi put pojavljuju, razvijaju i obrazlažu, dakle iz perspektive raspravâ *De viribus vivis* i *Dissertationis de lumine pars secunda*.

Dedukcija principa neprekinutosti iz analogije i jednostavnosti prirode

U raspravi *De viribus vivis* Bošković je sve vrste fenomena gibanja tumačio djelovanjima uzrokâ, a ta je djelovanja sveo na principe neposrednog nastanka brzine (*simpliciora, et gene-*

² TPhN, p. XXXIII.

ralissima principia productionis immediatae velocitatis).³ Time je otklonio Leibnizov dinamički pokušaj sa živim silama, što je bila njegova osnovna i prvotna nakana prilikom pisanja rasprave, ali je pred njim i dalje stajao zadatak da zauzeto stajalište, izraženo s pomoću geometrijskih konstrukcijâ i infinitezimalnih ideja, produbi u suočenju s tumačenjima kartezijanaca i newtonovaca.

Unatoč nesistematičnu izlaganju u tom dijelu rasprave *De viribus vivis*⁴ moguće je na temelju iscrpnog proučavanja utvrditi kako se Bošković postupno kreće od općeg epistemološkog polazišta prema prirodoznanstvenom principu koji ga usmjerava prema tumačenju pojedinih fizičkih pojava. Pokazat će da taj deduktivni lanac tvore:

(1) analogija i jednostavnost prirode (*analogia et simplicitas naturae*);

(2) kritički odnos spram eksperimentalnih rezultata i sposobnosti osjetila;

(3) razlikovanje matematičkog i fizičkog dodira (*contactus mathematicus-contactus physicus*);

(4) princip neprekinutosti u prirodi: *nihil in natura per saltum fieri*.

Taj redoslijed je, da ne bude dvojbe, isti onaj misaoni tok kojim se Bošković usmjerava prema izvornom poimanju silâ koje djeluju među česticama tvari.

Načelo analogije i jednostavnosti prirode temeljni je oblik Boškovićeve potrage za zakonima koji vladaju u prirodi.⁵ O tome postoji nekoliko potvrda u uočenom odlomku rasprave *De viribus vivis*.⁶ To je polazište konstanta u Boškovićevim razmišljanjima o prirodi jer se i u sistematskom izlaganju teorije govori o »analogiji koju jedinu smatramo u fizici prikladnom za istraživanje općih zakona prirode«. ⁷

U ovom istaknutom odlomku rasprave *De viribus vivis* Bošković nastoji protumačiti potencije, to jest uzroke gibanja i

³ R. BOŠKOVIĆ, *De viribus vivis* (= VV), Romae 1745, n. 40.

⁴ VV, nn. 40—47.

⁵ Posebno je na to Boškovićevo polazište upozorio Ž. MARKOVIĆ: *Rude Bošković I*, Zagreb 1968., pp. 182—183; 413—419.

⁶ Primjerice: »Remanet, ut nostram sententiam quandam aperiamus, quae majorem etiam simplicitatem inducit, et analogiam circa potentias ipsas, et eorum agendi modum: in quam nos quidem maximè inclinamus, tum ob hanc ipsam simplicitatem, et analogiam; tum quod plurimis etiam primariis corporum affectionibus explicandis sit apta«, u VV, n. 40. O analogiji i jednostavnosti prirode vidi još VV, nn. 37, 41, 47, 49.

⁷ »... ,et analogiae, quam unam habemus in Physica investigandis generalibus naturae legibus idoneam, ...«, u TPhN, n. 28.

njihov način djelovanja težeći k većoj jednostavnosti i analogiji. Istom cilju teže kartezijanci kad nastanak gibanja tumače samo impulsima tjelesa i newtonovci koji ga uvijek tumače djelovanjem sile na neku udaljenost. Iako je Boškoviću poznat prigovor, očigledno kartezijanaca, da način djelovanja *in distantia* nije ni mehanički, niti sukladan prirodi (*nec mechanicus sit, nec naturae congruens*),⁸ on vrši izbor za Newtona, a protiv kartezijanaca.⁹ Po Boškovićevu shvaćanju analogija i jednostavnost prirode očituje se tako što u prirodi postoji samo ona vrsta sila koja djeluje *isključivo* na neku udaljenost. Pritom, kao i kod Newtona, ostaje otvorenim pitanje o karakteru uzroka gibanja: narav tijela ili slobodni zakon Tvorca? Najizvršnji primjeri takvih silâ po Boškoviću su gravitacija i međudjelovanje tijela i svjetlosti prema Grimaldiju i Newtonu.

Da li takvo jedinstveno shvaćanje sile doživljava eksperimentalnu potvrdu? Sraz kugala, dodir primaknute ruke, udarac batine eksperimentalne su činjenice koje navode Boškovića da postavi važno pitanje: »Da li uistinu postoji dodir tjelesa?«¹⁰ Dodir kao fizička situacija kojom se dokida udaljenost proturječi isključivom promatranju funkcionalne ovisnosti sile o udaljenosti. Stoga se Bošković eksperimentalno ustanovljenim realnostima suprotstavlja zaključkom: »Pokazujemo očito da nas nije svladala niti istinitost niti lažnost takvih eksperimenata niti svjedočanstvo osjetila, jer u tim osjetilima ne može postojati baš nijedna osnova ma za što.«¹¹ A to je racionalistički *credo*.

U okviru takvog kritičkog poznavanja eksperimentalnih rezultata Bošković premošćuje nesuglasje između djelovanja sile, nadahnutog težnjom za analogijom i jednostavnošću prirode, i eksperimentalnih činjenica uvodeći uzorno razlikovanje fizički dodir — matematički dodir. O *fizičkom* se dodiru govori »kad dva tijela dolaze na udaljenost koja se ne može opažati ni s kojim ljudskim osjetilom i na kojoj udaljenosti odbojna sila postaje tako velika da je nikakva ljudska sila ne može svladati. *Matematički* i neposredni dodir je onaj kod kojeg ne postoji interval po sebi.«¹² I kasnije, prilikom izlaga-

⁸ VV, n. 43.

⁹ »Si analogiae, et simplicitati naturae consulatur, nullam mutationem motus fieri per impulsionem, sed semper per vires agentes in aliqua distantia, ...«, u VV, n. 41.

¹⁰ »An verè contactus corporum habeatur?«, u VV, n. 42, p. 32.

¹¹ »Ostendamus manifestò, neque ejus veritatem, neque ejus falsitatem hujusmodi experimentis, et sensuum testimonio evinci, ac in ipsis sensibus nullum prorsus fundamentum haberi posse pro utralibet«, u VV, n. 42, p. 33.

¹² »[contactum dicemus physicum]..., in quo bina corpora deventerint ad distantiam; quae nullo hominum sensu possit percipi, et in

nja prigovora koji se upućuju njegovoj teoriji silâ, on pojam dodira upotrebljava u posebnom značenju, naime shvaća ga kao fizički dodir prilikom kojeg se postojeća udaljenost ne može opaziti našim osjetilima, pa je uvjeren da iz takva promišljanja dodira ne može uopće poniknuti prigovor protiv njegove teorije.¹³ Dodir u pravom smislu te riječi je fizički dodir.

Isključenje matematičkog dodira znači odabiranje epistemološkog motrišta odakle je moguće sva fizička događanja, koja se inače tumače neposrednim doticajem, dosljedno prekidom i skokovitom promjenom, reinterpretirati uz pomoć egzistencije odbojne sile na vrlo malim udaljenostima. Analogija i jednostavnost prirode kao razlog zbog kojeg se u prirodi dopušta *samo jedna* vrsta sila uz uvjet isključenja matematičkog dodira iskazuje se kao razlog zbog kojeg u prirodi postoji *samo ona vrsta* sila koja proizvodi neprekinutu promjenu gibanja, dakle razlog poznat kao *princip neprekinutosti*. Ključni trenutak dedukcije, izražen Boškovićevim riječima, glasi:

»Iz analogije i jednostavnosti prirode izvodi se onaj princip izložen u n. 45 [princip neprekinutosti]. Da bi se onaj princip dopustio, nužno je isključiti matematički dodir i ispravnim zaključivanjem dospjeti do odbojnih sila koje na najmanjim udaljenostima rastu preko ma kojih granica.«¹⁴

Tu je, dakle, na djelu epistemološki pristup prema kojem je princip neprekinutosti deduciran iz općenitije postavke: analogije i jednostavnosti prirode. Takav odnos Bošković još jednom ističe nešto kasnije u istoj raspravi: »iz onog principa [principa neprekinutosti] izvedenog po analogiji prirode.«¹⁵

Bošković izriče princip neprekinutosti u obliku koji je *sententia communis* mnogih istraživača prirode, osobito Leibniza i njegovih sljedbenika: ništa se u prirodi ne događa skokom (*nihil in natura per saltum fieri*).¹⁶ U Boškovićevu misaonom vidokrugu g. 1745. smisao tog izričaja sastoji se u tome da se bilo koja promjena neke veličine, izrazila se ona poveća-

qua vis repulsiva ita sit magna, ut nulla humana vi vinci possit. Contactum mathematicum, et immediatum eum, in quo intervallum in se sit nullum«, u VV, 1. c.

¹³ TPhN, n. 130.

¹⁴ »Ex analogia, et simplicitate naturae deducitur principium illud expositum num. 45 [principium continuitatis]; illo principio admissio, contactus mathematicus necessariò excluditur, et vires repulsivae in minimis distantiiis crescentes ultra quoscunque limites recta ratiocinatione colliguntur«, u VV, n. 47.

¹⁵ »Directa igitur ratiocinatione ex illo principio [principio continuitatis] deducto per analogiam naturae...«, u VV, n. 49.

¹⁶ VV, n. 45, p. 35.

njem ili umanjenjem, odvija tako »da se s jedne veličine prelazi na drugu uvijek neprekinutim gibanjem preko svih međuveličina«. ¹⁷ Postoje dva ravnopravna načina matematičkog izražavanja neprekinute promjene: geometrijska mjesta i algebarske formule.

Neprekinutost se lako prepoznaje u lokalnom gibanju, u tijeku vremena i u nastanku brzine. Jedini slučaj eksperimentalnog osporavanja principa neprekinutosti predstavlja slučaj zbog kojeg je Bošković već prethodno istaknuo ograničene mogućnosti ljudskih osjetila, štoviše neutemeljivost spoznaje u osjetilima. Radi se o srazu čvrstih tijela kad prema tumačenjima Boškovićevih suvremenika u jednom vremenskom trenutku nastaje ili propada sva brzina. Uslijed toga Bošković zaključuje da čvrsta tijela kao *fizičke idealizacije* valja isključiti iz prirode, te ostaje proučavati elastična i meka tijela jer se sraz takvih tijela odvija uz neprekinuto opadanje ili prirast brzine. ¹⁸ Pošto se ovakvim tumačenjem sraza ogradio od jedine iznimke, Bošković može ustvrditi da nema nijednog eksperimenta koji bi dokazao lažnost principa neprekinutosti.

Istovremeno s tvrdnjom o eksperimentalnoj neopovrgljivosti principa neprekinutosti Bošković dolazi do svog bitnog zaključka u dinamici. Nije tako da promjena gibanja može nastati impulsom. Konkretno, prilikom sraza dviju jednakih elastičnih kugala ne događa se trenutačni skok u brzinama tih kugala, a to znači da se odbacuje kartezijasko tumačenje za djelovanje sile. Tumačenje koje nudi Bošković prvenstveno sadrži *uvođenje odbojne sile* koja se javlja čim dvije čestice dođu na neku neznatnu udaljenost (*ad quandam exiguam distantiam*), ¹⁹ a zatim i opis djelovanja odbojne sile pomoću graničnog procesa: »Ova odbojna sila raste preko ma kojih granica ako se udaljenosti neprestance umanjuju« ²⁰

Oblikovanje neprekinute krivulje silâ

Uvođenjem odbojne sile započinje proces oblikovanja Boškovićeve neprekinute krivulje silâ. ²¹ Štoviše, odbojna sila bitno utječe na proces oblikovanja jer se pojavljuje kao model kon-

¹⁷ »... , ut ab una quantitate ad aliam motu semper continuo per omnes intermedias quantitates transeatur«, u VV, 1. c.

¹⁸ VV, n. 45, pp. 35—36.

¹⁹ VV, n. 46, p. 36.

²⁰ »Hanc autem vim repulsivam distantiiis perpetuò imminutis crescere ultra quoscunque limites, inde eruitur«, u VV, n. 47.

²¹ VV, nn. 48—56, 58—61, 67.

zistentne Boškovićeve generalizacije.²² Ako djelovanje sile na najmanjim udaljenostima između čestica opisuje pojava odbojne sile, onda je logično istraživati i ustanoviti kakvo je djelovanje sile na svakoj, na svim udaljenostima, pa i onim beskonačno velikim, a to znači proširiti djelovanje sile na sve udaljenosti (*ad omnes distantias in infinitum extendi*). Ako se na neznatnim udaljenostima pomoću odbojne sile izbjegava prekid ili skok i time poštuje princip neprekinutosti, onda taj isti princip valja poštovati na cijelom području na kojem se može očitovati djelovanje sile, što znači da djelovanje sile valja opisati pomoću neprekinutih krivulja (*per ordinatas ad curvas quasdam continuas*). A kad odbojna sila već znači suprotstavljanje raširenom mišljenju da u srazu nastaje prekid ili skok, onda je moguće odstupiti od općeg shvaćanja (*ut sensum omnem effugiant*) i prilikom utvrđivanja oblika neprekinute krivulje koja opisuje zavisnost sile o udaljenosti među česticama.

Ako se u oblikovanju krivulje i može zaobići uvriježeno razumijevanje sile, kartezijansko ili newtonovsko svejedno, nesumnjivo je da ponuđeno rješenje mora biti potpuno u skladu sa zahtjevom analogije i jednostavnosti prirode i njegovom deduciranom konkretizacijom u filozofiji prirode, principom neprekinutosti. Kako (odbojne) sile na vrlo malim udaljenostima između čestica rastu čim se udaljenosti smanjuju, te kako (privlačne) sile na većim udaljenostima padaju kad se udaljenosti povećavaju, Bošković zaključuje da je *principu neprekinutosti* moguće udovoljiti *jedino* tako što se odbojne sile mijenjaju u privlačne i obratno. A kako se potencijalno beskonačna odbojna sila na beskonačno malim udaljenostima opisuje graničnim procesom, moguće je pretpostaviti da se sila na beskonačno velikim udaljenostima opisuje sličnim graničnim procesom. To proizlazi iz istodobnog promatranja beskonačno malih i beskonačno velikih veličina što je Bošković njegovao od samih početaka svog matematičkog rada, a podudara se i s istaknutim zahtjevom *analogije*. Stoga Bošković zamišlja da se mijenjanje odbojne u privlačnu silu odvija naizmjenice i opisuje krivuljom »koja bi se mogla približavati upravo danom pravcu, ali da nikad u njega ne prijeđe«²³ to jest krivuljom koja se asimptotski približava osi. Unatoč dalekosežnosti ovog zamišljaja, a možda baš zbog toga, Bošković nije terminološki ujednačen, jer piše da ordinate takve (krivulje prikazuju brzine (*velocitates*), premda pomišlja na sile (*vires particularum corporum*), kako se ispravlja već u narednoj rečenici.²⁴

²² VV, n. 48, pp. 37—38.

²³ »... quae ad datam quidem rectam accedere poterit, sed nusquam in eam ipsam mutabitur«, u VV, n. 48, p. 38.

²⁴ Cfr. posljednju rečenicu u VV, n. 48, p. 38 i prvu rečenicu u VV, n. 49.

Tako je Bošković izravnim zaključivanjem iz principa neprekinutosti²⁵ nagovijestio *narav*, danas bismo rekli *kvalitativni tok* krivulje koja opisuje kako među česticama tvari djeluju sile ovisno o razmaku na kojem se te čestice nalaze. No, narav te krivulje tek valja proučiti, odnosno, suvremenim matematičkim rječnikom, tok te krivulje tek valja ispitati. Bošković nudi mjerilo kojim se to može postići: *iz fenomena*. Evo Boškovićeva stava: »A budući da je Newton već riješio problem, pronaći krivulju parabolične vrste koja prolazi kroz ma koliko danih točaka [sjecišta s osi], moći će se uvijek pronaći neprekinuta i regularna krivulja koja prikazuje sile ma koje čestice u odnosu na ma koju drugu česticu, a koje sile su izvedene iz fenomena.«²⁶

Krivulja silâ i fizički fenomeni stoje u dvojakom, dijalektičkom odnosu. Krivulja može poslužiti za tumačenje mnogih fizičkih fenomena, te stoga može potaknuti rješavanje vrlo teških problema koji se obrađuju i u višoj geometriji i u analizi.²⁷ Obratno, fenomeni su upravo ona sredstva pomoću kojih valja istraživati krivulju silâ: »Doista, narav tih krivulja, kao i te točke [sjecišta s osi] kojima krivulje prolaze, valja istraživati iz fenomena.«²⁸ Razumijeva se da se fenomeni proučavaju u onoj mjeri u kojoj se u njima očituju sile koje djeluju između čestica tvari, pa se u tom smislu i ustanovljuju značajke toka krivulje silâ. Izbor, koji među fenomenima vrši Bošković, odlučno utječe na *konačno oblikovanje* te krivulje. Dakako, taj izbor nije samovoljan. Pokazat će se da on izražava Boškovićev odnos spram Newtonovih općih principa gibanja: gravitacije, kohezije i fermentacije.

Prvi fenomen koji mora biti opisan krivuljom je djelovanje *uzajamne gravitacije (gravitas mutua)*, za koju je Newton utvrdio da za sva tijela i čestice pada obratno razmjerno kvadratu udaljenosti.²⁹ Bošković je nazivlje i Newtonova gravitacija (*gravitas Newtoniana*), a osobito se poziva na njeno djelovanje u slučaju »ako točka teži pojedinim točkama sferne površine«.³⁰ Ta se sila izražava pomoću $\frac{1}{xx}$ gdje x označuje

²⁵ Vidi bilješku 15.

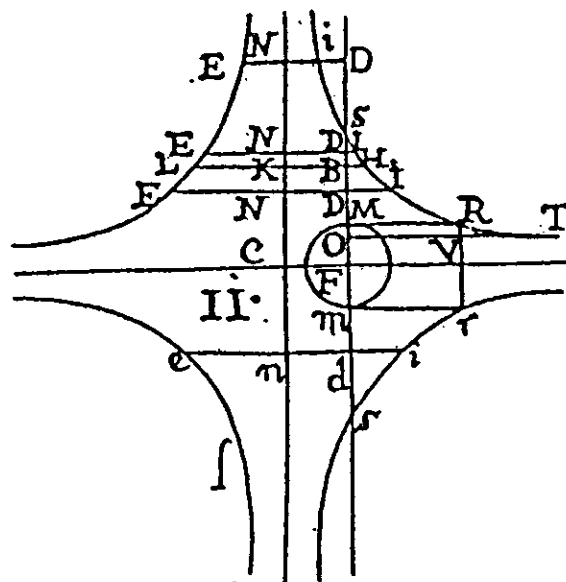
²⁶ »Et quoniam solutum jam est a Newtono problema, invenire curvam parabolici generis, quae per data quotcunque puncta transeat, poterit semper inveniri curva continua, et regularis, quae exprimat vires cujuscunque particulae respectu cujuscunque alterius, quae vires ex phaenomenis deductae sint«, u VV, n. 56, pp. 41—42.

²⁷ VV, nn. 49, 67.

²⁸ »Harum verò curvarum natura, et ea puncta, per quae transeunt, ex phaenomenis investiganda sunt«, u VV, n. 56, p. 42. Vidi i VV, n. 67.

²⁹ VV, n. 50.

³⁰ »si punctum tendat ad singula puncta superficiei sphaericae«, u VV, n. 38; isto tako u VV, n. 67.



Sl. 1 Djelovanje Newtonove gravitacije »ako točka teži pojedinim točkama sferne površine«
De motu corporis attracti in centrum, 1743, fig. 11

međusobnu udaljenost točaka koje se privlače.³¹ Graf krivulje koja opisuje baš djelovanje Newtonove gravitacije nije priložen u raspravi *De viribus vivis*, ali je ipak moguće rekonstruirati Boškovićeovu predodžbu. Naime, Bošković se dvije godine ranije u posebnoj raspravi pozabavio istraživanjem Newtonove gravitacije³² i tu je nacrtao crtež koji opisuje isti slučaj gravitacije o kojem je riječ u raspravi *De viribus vivis* (Sl. 1). Taj nalaz potvrđuju i Boškovićeve geometrijska razmatranja o asimptotskim lukovima ili krakovima krivulje u kasnijim radovima, prvo u raspravi *De lege virium in natura existentium* i konačno u *Theoria*,³³ gdje Bošković upotrebljava privlačni luk (*crus attractivum*), očigledno u analitičkom zapisu $y = -\frac{1}{xx}$ (Sl. 2).

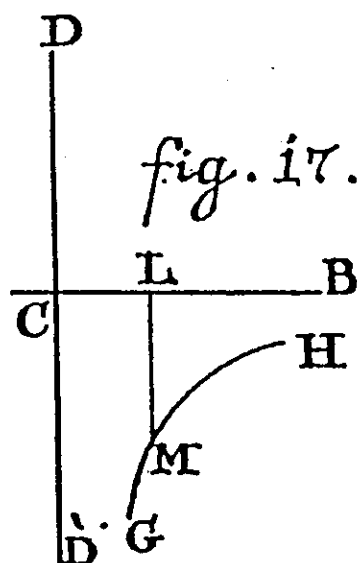
Drugi, nezaobilazni fenomen koji valja opisati krivuljom je već spomenuto djelovanje Boškovićeve odbojne sile na vrlo malim udaljenostima, okarakterizirano graničnim procesom. S pomoću tog djelovanja Bošković obrazlaže neproničnost (*impenetrabilitas*) i protežnost (*extensio*) tjelesa.³⁴ Naime, ako se čestice uzajamno približuju preko ma kojih granica, što znači da nastoje zauzeti isto mjesto, onda se javlja odbojna

³¹ VV, nn. 38, 51.

³² R. BOŠKOVIĆ, *De motu corporis attracti in centrum immobile viribus decrescentibus in ratione distantiarum reciproca duplicata in spatiis non resistentibus*, Romae 1743., nn. 83–85, pp. 29–30, fig. 11.

³³ R. BOŠKOVIĆ, *De lege virium in natura existentium*, Romae 1755., nn. 103–110, pp. 35–37; TPhN, nn. 185–186.

³⁴ VV, n. 52.



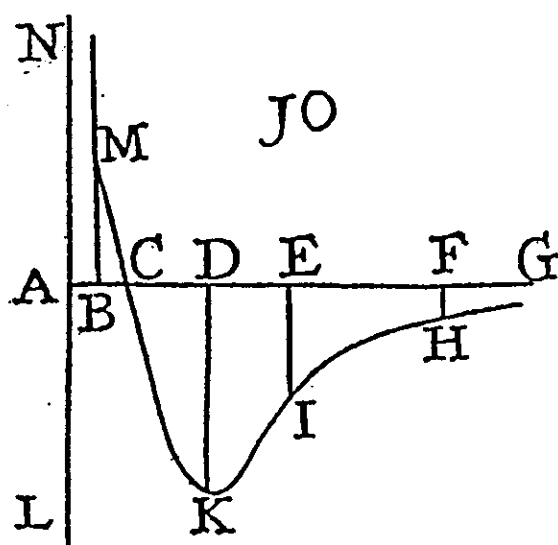
Sl. 2 Djelovanje Newtonove gravitacije: privlačni luk u Boškovićevu tumačenju

Rekonstrukcija iz *Theoria philosophiae naturalis*, 1758, fig. 17

sila koja to priječi tako što raste — a ne: pada, jer je posrijedi Boškovićeva omaška — u beskonačnost kad se udaljenost smanjuje u beskonačnost. Odbojna sila ponaša se kao *potencijalno* beskonačna veličina za razliku od djelovanja samog Tvorca prirode koji bi mogao *aktualno* beskonačnom silom svladati otpor koji se javlja između čestica u procesu približavanja i time dokinuti neproničnost. Takvim atribucijama potencijalne i aktualne beskonačnosti Bošković poseže za teološkim argumentom o odnosu fizičkog i metafizičkog reda stvari.³⁵ Samim tim što zbog djelovanja odbojne sile dvije različite čestice ne dopijevaju na isto mjesto, a tako se upravo izražava *neproničnost* tvari, one se »zacijelo razmještaju tako da se kroz neki prostor raspoređuju u dužinu, širinu i dubinu«,³⁶ dakle u nekom trodimenzionalnom prostoru, što zapravo jest protežnost tvari. Odatle neproničnost i protežnost tvari predstavljaju dva aspekta istog fenomena: djelovanja Boškovićeve potencijalno beskonačne odbojne sile na beskonačno malim udaljenostima.

³⁵ »ut demum imminutis in infinitum distantis, augeatur vis repulsiva in infinitum, non vincenda nisi infinita vi, quam solus Deus ipse O. M. possit exercere, qui proinde solus possit, compenetrare corpora, et iis adimere extensionem«, u VV, n. 41; »sine infinita vi particulae ad se invicem ita admoveri non poterunt; ut eundem occupent locum. Quamobrem solus Naturae auctor infinita potentia pollens eam poterit resistentiam vincere, et corpora compenetrare«, u VV, n. 52, pp. 39—40.

³⁶ »Pariter si se in minimis distantis particulae ita repellunt; disponentur profecto ita, ut per locum aliquem distribuantur in longum, latum, atque profundum«, u VV, n. 52, p. 40.

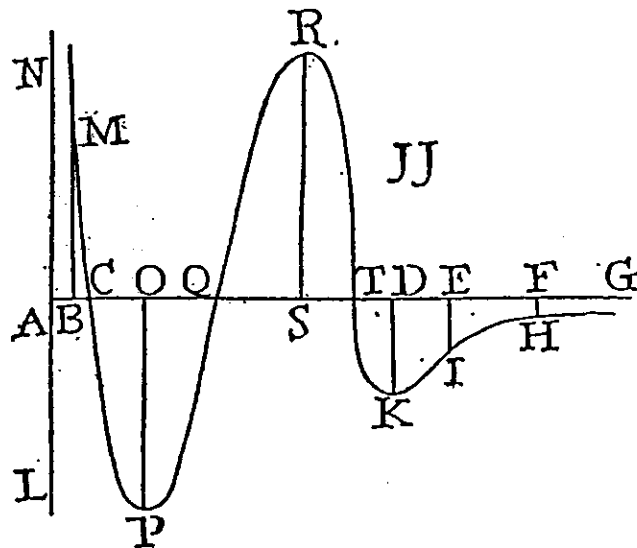


Sl. 3 Objedinjeno djelovanje Newtonove privlačne i Boškovićeve odbojne sile
De viribus vivis, 1745, fig. 10

Kako izgleda krivulja koja integrira zakon djelovanja Newtonove privlačne i Boškovićeve odbojne sile (Sl. 3)? Krivulja je prikazana u koordinatnom sustavu s osi apscisa AG i s osi ordinata NL. Apscise prikazuju međusobnu udaljenost čestica od kojih je jedna postavljena u ishodište koordinatnog sustava A, a ordinate prikazuju silu koja djeluje među promatranim česticama, i to pozitivne ordinate odbojnu, a negativne ordinate privlačnu silu. Na većim udaljenostima između čestica djelovanje sile predočuje privlačni luk IH koji opisuje kako gravitacija raste dok se udaljenost među česticama smanjuje od AF prema AD. Postaje li udaljenost među česticama manja od AD, privlačna sila počinje padati sve dok ne iščezne na udaljenosti AC. Tada počinje djelovati odbojna sila koja raste to više što se udaljenost, počevši od AC, neprestano smanjuje, pa je stoga opisuje asimptotski odbojni luk CM. A to znači da se lukovi koji predočuju djelovanje Newtonove i Boškovićeve sile zbog principa neprekinutosti povezuju lukom KC. Što se tiče točke C, odnosno udaljenosti na kojoj se odvija prijelaz od privlačne u odbojnu silu i obratno, tek valja ustanoviti koji joj je fizički fenomen primjeren.

Zato već u idućem koraku Bošković tumači *stlačivanje* (*compressio*) i *širenje* (*dilatatio*) kod čestica fluida s pomoću sila koje djeluju među česticama raspoređenima na udaljenostima neznatno manjim ili većim od AC.³⁷ Ako je međusobna udaljenost čestica jednaka AC, fluid je u ravnotežnom stanju. Ako se ta udaljenost ma kako malo smanji, javljaju se znatne odbojne sile, opisane lukom CM, kojima se čestice fluida opiru stlači-

³⁷ VV, n. 53.



Sl. 4 Uključen otpor spram vanjske sile na fluide, elastična tijela, meka tijela i niti: tumačenje pomoću luka CPQRT

De viribus vivis, 1745, fig. 11

vanju, a ako se ta udaljenost ma kako malo poveća, javljaju se znatne privlačne sile, opisane lukom CK, kojima se te navedene čestice opiru širenju fluida. Međutim, udaljenosti među česticama fluida ne mogu se smanjivati i povećavati po volji. Primjerice, voda se nijednom upotrijebljenom silom ne može stlačiti u prostor koji se više ne bi mogao opažati. Stoga Bošković uvodi pretpostavku da među silama, koje djeluju između čestica fluida, postoji najveća *odbojna* i isto tako najveća *privlačna* sila, dakako opet ovisna o međusobnim udaljenostima česticâ. Odatle slijedi zaključak da tok krivulje valja »promijeniti tako da siječe os u druge dvije [Q, T], da pače u koliko god točaka«³⁸ (Sl. 4). Glede zamisli o naizmjeničnoj promjeni odbojne u privlačnu silu Bošković ima slavnog prethodnika. Tu ideju natuknuo je Newton u sklopu 31. pitanja pri kraju svoje *Opticks*: »Pa kao što u algebri, ondje gdje pozitivne veličine iščezavaju i prestaju, negativne počinju, tako u mehanici, ondje gdje prestaje privlačenje, trebalo bi uslijediti odbojno djelovanje.«³⁹ Bošković u raspravi *De viribus vivis* ne spominje ovo izvorište svoje pretpostavke, ali

³⁸ »Iis viribus, ut et aliis chymicis aliorum corpusculorum effectibus explicandis, arcus curvae CKI figurae 10. ita flectendus est, ut axem in aliis binis, vel etiam quocunque punctis secet«, u VV, n. 54, p. 40.

³⁹ »And as in Algebra, where Affirmative quantities vanish and cease, there Negative ones begin; so in Mechanicks, where Attraction ceases, there a Repulsive virtue ought to succeed«, u I. NEWTON, *Opticks. Query 31, u Opera quae exstant omnia IV*, ed. S. Horaley, Faksimile-Neudruck Stuttgart-Bad Cannstatt 1964, p. 256.

zato na početku *Theoriae* izričito tvrdi kako je Newton u posljednjem pitanju svoje *Opticks* promjenu od privlačne u odbojnu silu »objasnio primjerom prijelaza od pozitivnog prema negativnom koji postoji u algebarskim formulama.«⁴⁰

Boškovićeva pretpostavka i primjereni joj oblik krivulje omogućuju da se protumače *promjene agregatnih stanja*, prvenstveno isparavanje vode, ali i »drugi kemijski efekti drugih tjelešaca«.⁴¹ Tako o silama među česticama vode Bošković zaključuje: »Ako se čestice vode nalaze na udaljenosti AC, nju obdržavaju sve dok ih neka sila koja nadmašuje najveću privlačnu silu OP ne odmakne prema AQ. Zatim se same od sebe znatno udaljavaju, pa kad je točka R najviše udaljena od osi, postići će se najveće odbojne sile.«⁴² Prethodno još pripominje kako se »voda većom silom, primjerice djelovanjem ognja, pretvara u pare kojih se čestice međusobno udaljavaju najvećom silom«. Premda ne precizira odnos veće i najveće sile, Bošković tu prvi put povezuje djelovanje silâ među česticama s promjenom agregatnog stanja kao kemijskom promjenom, te tu vezu izražava nultočkom Q krivulje silâ. A to je zamisao koju u skladu s razvojem vlastitih shvaćanja o djelovanju silâ više puta reinterpreтира, pa je ugrađuje i u svoju sintezu *Theoria*.⁴³

Zatim, pomoću luka CPQRT iste krivulje Bošković tumači još neke pojave, kao što su: *rastezanje i stezanje elastičnih i mekih tijela*, te *produžavanje i kidanje niti*.⁴⁴ Svaka od tih pojava pridonosi na određeni način da se karakterizira luk krivulje, bilo da je riječ o njegovu obliku, nultočkama, ordinatama ili razmacima na osi apscisa.

Promatrajući promjene, koje zbog rastezanja ili stlačivanja doživljava *elastično tijelo*, Bošković uočuje da raspon udaljenosti među česticama, duž kojeg karakter sile ostaje nepromijenjen, mora biti znatan, odnosno kako on kaže »veći« (*maior*). Konkretno, ako se stlačivanjem elastičnog tijela udaljenost čestica smanjuje od AT prema AQ, tada duž razmaka QT neprestano djeluje odbojna sila koja nastoji da se čestice vrate na udaljenost koja je prethodila stlačivanju. Upravo zbog toga što su razmaci CQ, QT znatni, pa time omogućuju da sile duž njih djeluju na opisani način, opravdano je govoriti o elastičnom tijelu.

Protivno, ako su razmaci CQ, QT vrlo mali (*modicissima intervala*), valja govoriti o *mekom tijelu*. Stlačivanjem takvog

⁴⁰ »... ac exemplo transitus a positivis ad negativa, qui habetur in algebraicis formulis, illustravit«, u TPhN, n. 2.

⁴¹ Vidi bilješku 38.

⁴² VV, n. 54, p. 41.

⁴³ TPhN, n. 431. Cfr. S. PAUŠEK-BAŽDAR, *Kemijski aspekti Boškovićeve teorije*, u: *Rasprave i građa za povijest znanosti* 4, Zagreb, 1983, pp. 52–53.

⁴⁴ VV, n. 55.

tijela udaljenost se među česticama odmah (*statim*) smanjuje od AT do ispod AQ, a kako se time promijeni karakter sile od odbojne koja se protivi stlačivanju u privlačnu koja se stlačivanju ne protivi, više nema poticaja da se tijelo vrati u stanje koje je prethodilo stlačivanju. Prema tome, veličina udaljenosti CQ, QT između multočaka krivulje (Sl. 4) odlučna je za razlikovanje elastičnih i mekih tijela.

Prilikom produžavanja niti udaljenost čestica povećava se od AC prema AO, a pritom među česticama djeluju privlačne sile koje se protive uzroku rastezanja. Ako je uzrok rastezanja sila koja nadmašuje najveću privlačnu silu intenziteta OP, udaljenost čestica i dalje se, i to naglo, povećava sve do AQ, na kojoj udaljenost među česticama niti više ne djeluje privlačna sila a još nije počela djelovati odbojna sila. U tom momentu dolazi do *kidanja niti*, a multočka Q krivulje obilježuje taj proces sa stajališta djelovanja sila među česticama tvari. U protivnom slučaju, ako čestice ostaju raspoređene na udaljenostima AC, udaljenostima AC, valja govoriti o adheziji čvrstih tijela (*solidorum corporum adhaesio*).⁴⁵ Time u raspravi *De viribus vivis* završava postupak karakterizacije luka CPQRT krivulje sila, koji je umetnut između lukova Boškovićeve odbojne sile i Newtonove gravitacije. Boškovićeve neprekidna krivulja sila može, dakle, obrazložiti krug fizičkih fenomena koje je Newton tumačio djelatnim principima gravitacije, fermentacije i kohezije tijela u posljednjem pitanju *Opticks*.⁴⁶

Sastavljanje čestica

U tumačenju tih fizičkih fenomena Bošković prešutno pretpostavlja da se čestice elastičnog tijela, mekog tijela ili niti podvrgavaju djelovanju iste vanjske, deformacijske sile, a djelovanje sila među česticama odvija se na istom pravcu. Što se, međutim, događa ako su čestice prepuštene same sebi? Na koji način opstaje nakupina homogenih čestica tvari, a da djelovanje uzajamnih sila među njima nije vezano ni uz koji privilegirani smjer? Da li je pomoću ovog oblika krivulje moguće određenije govoriti o *sastavljanju većih čestica iz manjih* (*compositio particularum majorum ex minoribus*)?⁴⁷ Bošković odgovara formulirajući princip superpozicije: »Ondje gdje se

⁴⁵ VV, n. 57, p. 42; n. 61, p. 45.

⁴⁶ I. NEWTON, *Opticks, Query 31*, op. c., pp. 242—261.

⁴⁷ VV, n. 59.

dvije [sile] sastavljaju na ma kojoj udaljenosti duž ma kojeg smjera, uzajamna sila daje se izraziti sumom ordinatâ, koja se odnosi na bilo koju od čestica na tim udaljenostima i smjerovima.«⁴⁸

U skladu s principom superpozicije mnoge manje čestice mogu izgraditi veću česticu, koju, dakako, potpuno određuje prostorni raspored manjih čestica. Odatle Bošković povlači dalekosežne zaključke o sastavljanju čestica.⁴⁹ Ako su manje čestice postavljene u ili oko međâ (*terminus*) u kojima se vrši prijelaz od odbojne u privlačnu silu i obratno ili, što je isto značno, u granicama privlačenja ili odbijanja (*limes attractionis ac repulsionis*), one veoma čvrsto (*validissimè*) tvore jednu veću česticu, a na većim udaljenostima djeluju jedinstveno (*unitim*), što znači da je na razini većih čestica pod određenim uvjetima dopušteno upotrebljavati *fizičke idealizacije*. Ako se manje čestice ravnaju po različitim zakonima silâ, po principu superpozicije daje se ustanoviti zakon po kojem se ravna veća čestica, a moguće je da taj zakon silâ bude bitno drukčiji od zakona za pojedine manje čestice. Moguće je isto tako da se postupak građenja čestica od manjih prema većima odvija stupnjevito (*gradatim*) te da se, ovisno o razini, pronalazi primjereni, nekad bitno drukčiji (*dissimilis*) zakon silâ, što znači da svaka razina istraživanja donosi svoje posebnosti, pa valja očekivati i razlike u pristupu takvom zakonu silâ.

Boškovićeви zaključci posve su načelne naravi, ali ujedno su solidan temelj za Boškovićeва istraživanja pojedinih fizičkih fenomena u novim raspravama. Međutim, njihovo značenje g. 1745. valja procijeniti u sklopu Boškovićeва nastojanja da u raspravi *De viribus vivis* pođe još jedan korak dalje u razvijanju svojih ideja o *strukturi tvari*. Ti zaključci služe Boškoviću kao polazište da u novoj perspektivi postavi stara pitanja o sastavljanju čestica: Kakvog je karaktera postupak kojim se od manjih sastavljaju veće čestice? Ima li taj postupak početak ili kraj? Kakva je narav tako sastavljene protežne tvari? Pitanja ove vrste Bošković prepoznaje kao pitanje o *neprekinutosti i beskonačnosti u prirodi*, pa se zato sastavljanje čestica iskazuje kao još jedan pojavni oblik problema neprekinutosti i beskonačnosti u Boškovićevu djelu.⁵⁰

⁴⁸ »Ubi autem binae [vires] combinatur in quavis distantia secundum quamvis directionem, vim mutuam exprimi per summam ordinarum, quae partinet ad particulam utranque in iis distantiiis, et directionibus«, u VV, n. 59, p. 43.

⁴⁹ Oni u latinskom izvorniku glase: »Et poterunt majores particulae componi ex minoribus ita, ut dissimillimas habeant virium leges, et ex bis aliae majores gradatim pariter, ut libuerit, dissimiles«, u VV, n. 59, p. 43. »Plures particulae minores, positae circa eos terminos, coalescent validissimè in unam majorem particulam, ac in majoribus distantiiis unitim agent«, u VV, n. 59, p. 44.

⁵⁰ VV, n. 61, pp. 45—46.

Prema Boškovićevu zaključku moguće je graditi čestice korak po korak, od manjih veće, od tih većih još veće. Dosljedno mišljeno, to znači nastaviti takav postupak u beskonačnost ili, Boškovićevim riječima, valja govoriti o tijelu »koje se međusobno raspoređenim česticama može povećavati u beskonačnost«. ⁵¹ U skladu s analogijom prirode (*ex naturae analogia*), zbog pitagorijski nadahnutog usporednog promatranja beskonačno velikog i beskonačno malog, to znači zahtijevati da se tijelo može i umanjivati u beskonačnost. Bošković, naprotiv, otklanja takvu mogućnost za fizičko tijelo.

Umanjivanjem fizičkog tijela u beskonačnost dospjelo bi se do infinitezimalnih dijelova (*infinitesimae partes*) kao neodređeno malih dijelova u Leibnizovu smislu, kako te dijelove shvaća i Bošković, dakle do takvog dijela tvari u slučaju kojeg se može apstrahirati od njegove veličine kao *određene veličine*. A to znači da ista čestica tvari može s nekom neodređenošću zauzeti sad veći, sad manji prostor. No, određenost u veličini (*moles, magnitudo*) tvari valja sačuvati. Tu je Boškovićevog gledište o umanjivanju fizičkog tijela u beskonačnost izvedeno iz pojma *infinitezimala*.

Ako se umanjivanje fizičkog tijela promatra kao *proces*, ni tada se ono ne smije prihvatiti kao proces koji se odvija *ultra quoscunque limites*, dakle kao granični proces po Boškovićevu mnijenju. Kad bi se postiglo da čvrste čestice dođu u dodir, što inače priječe potencijalno beskonačne sile, proces umanjivanja ili stlačivanja ne bi bilo moguće nastaviti. Taj bi proces, dakle, imao granicu. Ako se, naprotiv, zamišlja da razmaci među točkama mogu postati po volji mali, oni se zbog karaktera procesa mogu dalje dijeliti u ma kojem danom omjeru. U tom slučaju tijelo, koje se sastoji od takvih točaka, može se stlačivanjem svesti na veličinu koja je po volji manja od veličine koju je tijelo imalo prije procesa stlačivanja, što pak dovodi u pitanje samu opstojnost fizičkog tijela. Ostaje, dakle, zaključiti kako točke tvore fizičko tijelo, a razmaci među točkama nisu neodređeno mali, već konačni.

Postoji još jedan način kako Bošković obrazlaže tvrdnju da se »tijela u krajnjem rastavljaju na neke točke, koje nemaju dijelova, pa odatle niti imaju, niti sastavljaju neprekinutu protežnost«. ⁵² Obrazloženje se sad tiče pitanja je li protežno tijelo koje grade realne fizičke točke *fizički kontinuum* ili ono to nije, a odgovor se zasniva na usporedbi matematičkih i fizičkih točaka.

⁵¹ »...moles corporis, quae particulis a se invicem distractis potest augeri in infinitum, ...«, u VV, n. 61, pp. 45—46.

⁵² »...ultimò resolvantur corpora in puncta quaedam, quae partes non habeant, ac proinde continuam extensionem nec habeant, nec component«, u VV, n. 61, p. 45.

Matematičke točke ne mogu sastaviti ni crtu, ni površinu, ni tijelo. Za njih postoje samo dvije mogućnosti: ili se podudaraju, ili su međusobno udaljene za neku crtu. Protivno matematičkim točkama koje se mogu podudarati, realne fizičke točke, upravo zbog toga što su opskrbljene znatnim odbojnim silama na malim udaljenostima, ne mogu se pronicati jer bi to zahtijevalo djelovanje božanske beskonačne sile, dakle aktualno beskonačne sile. Ostaje stoga da fizičke točke, budući da su točke, a to znači nedjeljive i neprotežne, budu međusobno udaljene za neki određeni razmak. Pa kao što matematičke točke ne sastavljaju matematičku neprekidninu, ni fizičke ne sastavljaju fizičku neprekidninu. »Fizički kontinuum se na ovaj način protjeruje iz prirode.«⁵³

Raspravljajući o problemu sastavljanja i rastavljanja čestica Bošković je istražio da li se pojmovi infinitezimala, graničnog procesa i neprekidnine, sve redom pojmovi koje je tumačio i upotrebljavao u geometriji, mogu primijeniti na fizičku stvarnost. Logičku strukturu Boškovićeve istraživačkog postupka odlikuju tri odlučna koraka:

(1) temeljna hipoteza o djelovanju potencijalno beskonačnih odbojnih sila na vrlo malim udaljenostima;

(2) dokazivanje tvrdnji da pojmovi infinitezimala, graničnog procesa i neprekidnine ne mogu poslužiti u rješavanju problema sastavljanja i rastavljanja čestica: pojam infinitezimala nije prikladan da opiše veličinu čestice; granični proces nije postupak kojim bi se moglo opisati umanjivanje čestice; pojam neprekidnine nije primjeren da opiše protežno tijelo;

(3) zaključak o nedjeljivim točkama tvari (*puncta quaedam, quae partes non habeant*), ujedno obdarenim silama (*puncta physica, et realia, iis viribus praedita*) i smještenim na položaje granicâ privlačenja i odbijanja (*in limitibus attractionis, ac repulsionis*), kao izvorni ishod Boškovićeve istraživanja strukture tvari, trajan i karakterističan za ukupno Boškovićevo djelo.⁵⁴

Struktura svemira?

Razmatranjem o sastavljanju čestica nije iscrpljen niz fizičkih pojava s pomoću kojih Bošković objašnjava tok krivulje silâ (Sl. 4), kao što ni tok krivulje nije posvema obrazložen s pomoću fizičkih pojava. Jedini dio krivulje koji nije tako po-

⁵³ »Continuum physicum eo pacto summovertur e natura«, u VV, 1, c.

⁵⁴ VV, nn. 57, 61.

tanko obrađen je privlačni luk KIH kao dio krivulje koji opisuje djelovanje Newtonove gravitacije, a primjeren je fizičkim pojavama koje se zbivaju kad se čestice tvari nalaze na vrlo velikim udaljenostima.

Bošković već u opisu krivulje koja ujedinjuje jedino djelovanje Newtonove privlačne i Boškovićeve odbojne sile (Sl. 3) primjećuje da »luk KIH od neke točke I ima za asimptotu hiperbolu drugog reda«,⁵⁵ oblika $-\frac{1}{xx}$. No, Boškovićev trgalački duh ne zadovoljava se tom činjenicom, jer Bošković, dok obrazlaže naredni oblik svoje krivulje (Sl. 4), ne može odoljeti iskušenju da preispita oblik luka KIH, i to upravo u svjetlu tumačenja strukture tvari. Pritom se još jednom nadahnjuje usvojenim epistemološkim polazištem, naime zahtjevom analogije i jednostavnosti prirode. Doseg i vrijednost Boškovićeve analogije očituje se u tome što pitanja, koja je postavio o strukturi mikrosvijeta, postavlja i o *strukтури makrosvijeta*.

Bošković se pita da li je model veće čestice, odnosno model tijela kojega se veličina međusobno rasporednim česticama povećava u beskonačnost, primjenjiv na čitav svemir i prikladan za tumačenje pojedinih *astronomskih pojava*. Evo tih Boškovićevih pitanja:⁵⁶

A što ako se i stajačice (*Fixae*) na isti način kao i čestice tvari nalaze na granicama privlačenja i odbijanja? Zar se nisu one nanizale naizmjenice, približno na istoj udaljenosti? Nije li cijeli svijet (*Mundus totus*) tako sastavljen kao da je jedna od tih većih čestica? Zar nije upravo to uzrok da su stajačice tako beskrajno udaljene od nas i naizmjenice postavljene? Zar se tim zakonom silâ ne bi moglo objasniti gibanje kometa?

Bošković postavlja niz pitanja, ali ne nudi odgovore. Odveć je astronomskih pojava protumačeno baš djelovanjem Newtonove gravitacije geometrijskom ili analitičkom metodom, a Bošković u tom trenutku raspolaže tek oblikovanim kvalitativnim tokom krivulje silâ. Dapače, on se ustručava nadopuniti ili promijeniti kvalitativan tok krivulje u skladu s postavljenim pitanjima i naslućivanim odgovorima. Izmijenjeni tok krivulje oskudan je instrumentarij za nov pokušaj reinterpretacije astronomskog znanja sredinom 18. stoljeća. A i ishod takve reinterpretacije je neizvjestan.

⁵⁵ »et ab aliquo puncto I habeat pro asymptoto hyperbolam secundi ordinis, ...«, u VV, n. 50, p. 39.

⁵⁶ VV, n. 59, p. 44.

*Struktura tvari:
neprotežne točke na granicama
kohezije i nekohezije*

S astronomskim pojavama Bošković zaključuje istraživanje krivulje silâ s pomoću fenomenâ. Istraživanjem nisu obuhvaćeni svi fizički fenomeni. Tako, primjerice, nisu izravno tumačeni optički i magnetski fenomeni. Očigledno, Bošković u raspravi *De viribus vivis* provodi generalizirajuću indukciju, pa zato zaključak cjelokupnog Boškovićeve istraživanja krivulje silâ posjeduje oblik klasičnog induktivnog zaključka: »Sve vrste sila ovim se krivuljama svode na jedinstveni i u sebi uvijek stalni način djelovanja.«⁵⁷ Taj zaključak radikalizira Newtonov ideal u istraživanju prirode: »ali izvesti iz fenomenâ dva ili tri opća principa gibanja i zatim protumačiti nam kako iz ovih očiglednih principa slijede svojstva i djelovanja svih tjelesnih stvari bio bi vrlo veliki korak u filozofiji makar još ne bili otkriveni uzroci ovih principa.«⁵⁸

Time, prema vlastitu iskazu s početka *Dissertationis de lumine pars secunda* (= *De lumine* 2), Bošković samo zasniva svoju teoriju silâ koje postoje u prirodi (*nostra quaedam theoria virium in Natura existentium*).⁵⁹ Ta teorija čvrsto je povezana s osnovama mehanike, pa Bošković ujedno objelodanjuje svoju namjeru da što prije opširnije (*fusius*), u opširnijem djelu (*longiore opere*), izloži svezu teorije i osnovâ mehanike u njezinoj dvostranoj usmjerenosti: jednom osnove mehanike generiraju teoriju silâ, a drugi put se one izvode iz te teorije.⁵⁹ Neposredno nadahnuće za takav postupak pruža opet isti Newtonov ideal koji tako postaje ključ za razumijevanje osnovne Boškovićeve zamisli u filozofiji prirode.

⁵⁷ »Omnia virium genera per hasce curvas ad unicum, et sibi semper constantem agendi modum reducuntur«, u VV, n. 67.

⁵⁸ I. NEWTON, *Opticks III. Query 31. Principles of Motion*, op. c., p. 261. Ž. Marković je dosljedno upućivao na ovo izvorište Boškovićeve teorije silâ u radovima: Ž. MARKOVIĆ, *O dvjestagodišnjici Philosophiae naturalis Theoria*, u: Predavanja u Jugoslavenskoj akademiji 19, Zagreb 1959, pp. 12—15; ID., *Boscovich's Theoria*, u L. L. WHYTE (ed.), *Roger Joseph Boscovich S. J., F. R. S., 1711—1787. Studies of his life and work on the 250th anniversary of his birth*, London 1961, pp. 130—133; ID., *Ruđe Bošković I*, pp. 411—412. S pravom, jer je Bošković izričito očitovao svoje nadahnuće navodeći upravo ovu Newtonovu tvrdnju iz latinskog izdanja *Opticks* dva puta: *Dissertationis de lumine pars secunda*, Romae 1748, n. 58, pp. 24—25; TPhN. *Ad lectorem ex editione viennensi*, pp. XV—XVI.

⁵⁹ To je prva najava sistematskog izlaganja *Theoria philosophiae naturalis* u Boškovićeve objelodanjenim raspravama, i to na dva mjesta: *Dissertationis de lumine pars secunda* (= L2), n. 2; n. 54, p. 23.

Kao u raspravi *De lumine 2* želi istražiti mehaničke uzroke svojstava svjetlosti (refrakcije, refleksije, difrakcije), Bošković odlučuje jednim jedinstvenim pogledom shvatiti temelje svoje teorije silâ: promatrajući je kao hipotezu i izvodeći je »koliko je u fizičko-matematičkoj stvari moguće, pozitivno i izravno iz najjednostavnijih i najšire prihvaćenih principa«. ⁶⁰ Boškovićeva je osnovna postavka da su točke tvari obdarene silama, a te sile mogu se odrediti na dva načina:

(1) približavanjem ili udaljavanjem točaka tvari ovisno o različitim udaljenostima na kojima se one nalaze (*ad accedendum ad se invicem, vel recedendum a se invicem pro diversa distantia eorundem*),

(2) nastankom brzine u točkama tvari u smjeru koji te točke spaja ili protivnom smjeru (*ad producendam in iis velocitatem secundum directionem, quae ipsa conjungit, vel secundum oppositam*). ⁶¹

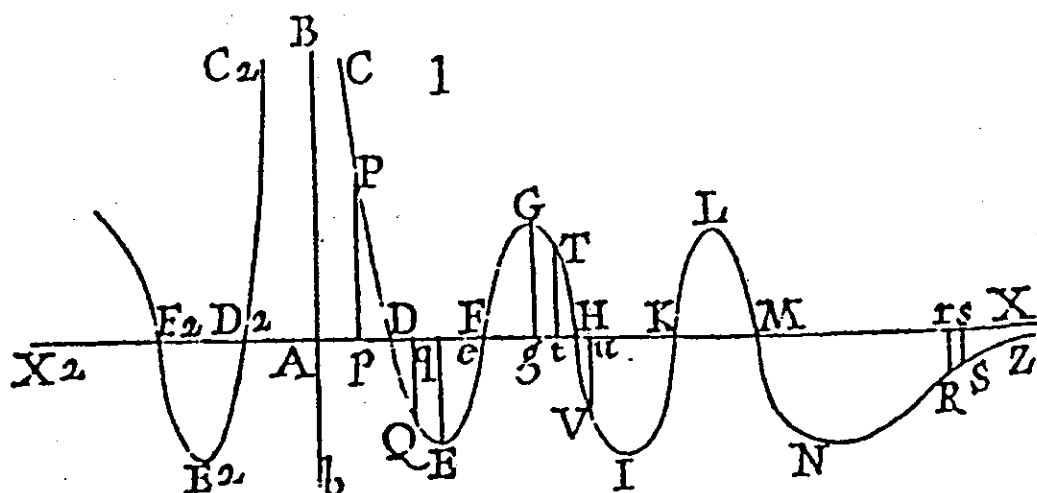
Boškovićeva postavka tu je drukčija negoli u prethodnoj raspravi. Naime, u raspravi *De viribus vivis* Bošković je prvo razmatrao problem nastanka brzine kao problem mjerenja silâ u prirodi, a zatim tumačio djelovanje silâ i strukturu tvari, i to proukom izabranih fizičkih fenomena u skladu s principom neprekinutosti, a da pritom ta dva pristupa nije dovodio u vezu. Naprotiv, u raspravi *De lumine 2* on ih promatra ravnopravno i prepoznaje ih upravo kao dva različita, ali jednakovrijedna načina kojima se očituje djelovanje sile: ili pomakom točke, ili smjerom proizvedene brzine.

Međutim, Bošković pod zakonom silâ (*lex virium*) i dalje pomišlja ovisnost sile o međusobnoj udaljenosti čestica tvari, te ga prikazuje regularnom krivuljom u pravokutnom koordinatnom sustavu, gdje apscise prikazuju međusobnu udaljenost dviju točaka, a ordinate sile koje djeluju između tih dviju točaka (Sl. 5). Oblik te krivulje razlikuje se od onog kojim je Bošković dovršio obrazlaganje zakona silâ u *De viribus vivis* (Sl. 4), te predstavlja oblik kojim završava proces geneze Boškovićeve krivulje silâ. Tekst rasprave *De viribus vivis* već sadrži Boškovićevu primjedbu koja neposredno upućuje na oblik krivulje kakav se prvi put javlja u raspravi *De lumine 2*. Ta primjedba glasi: ako zbog tumačenja izabranih fizičkih fenomena, koji opisuju djelovanje deformacijske sile ili strukturu tvari, krivulja siječe os u dvije točke, onda je ona mora sjeći i u *koliko god* točaka. ⁶² Tu se, dakle, implicira sadržaj

⁶⁰ Očitovanje namjere da prikaže glavna poglavlja svoje teorije silâ: »tanquam hypothesim quandam«, »quantum in re Physico-Mathematica licet, positive et directe ex simplicissimis, et jam communissimè admissis principiis deducantur«, u L2, n. 3; prikaz teorije u L2, nn. 4–25, pp. 2–12.

⁶¹ L2, n. 4.

⁶² Vidi bilješku 38. i odnosni tekst.



Sl. 5 Razlikovanje granica kohezije i nekohezije
De lumine 2, 1748, fig. 1

matematičkog pojma *gustog skupa*, a da nema izričitog objašnjenja, kao ni potvrde u crtežu.

No, kad Bošković u raspravi *De lumine 2* crta krivulju silâ s više od dvije nultočke, tj. s nultočkama D, F, H, K, M, u izvornim oznakama, on odmah određuje četiri glavne značajke njezina toka:⁶³

(1) Krivulja u točki A ima vertikalnu asimptotu kojoj se graničnim procesom (*ultra quoscunque limites*) približavaju dvije posve slične i jednake grane koje prikazuju odbojne sile. Područje omeđeno s osi apscisa, asimptotom i asimptotskim lukom mora biti *beskonačno*.

(2) Te asimptotske grane presijecaju os apscisa i nastavljaju je vijugajući (*sinuando*) presijecati, udaljavajući se od vertikalne asimptote tako da po jednoj apscisi odgovara *samo po jedna ordinata*.

(3) Sjecišta krivulje s osi apscisa moraju biti *mnogobrojna*, a lukovi određeni tim točkama moraju imati mnoge, međusobno posve različite položaje. Ovo uključuje da lukovi presijecaju os pod posve različitim kutovima i udaljavaju se na posve različite udaljenosti od osi koju pak mogu negdje dirati ma kojom vrstom dodira.

(4) Promjene u toku krivulje silâ brojem i karakterom ovise o udaljenosti među česticama. Na *neznatnim* udaljenostima tih promjenâ mora biti mnogo više i veličinom znatnijih. Na udaljenostima koje odgovaraju međusobnim *udaljenostima pla-*

⁶³ L2, n. 6, pp. 2–3.

netâ krivulja poprima oblik veoma blizak hiperboli drugog reda $-\frac{1}{xx}$, a na *najvećim* udaljenostima, kao što su međusobna udaljenost zvijezda stajačica ili njihova udaljenost od nas, krivulja može, premda to nije uočeno, ponovno sjeći os u koliko god točaka. Moguću promjenu toka u tom smislu prikazuje Sl. 6.

S ovim svojstvima, svjestan je Bošković, krivulja ostaje još uvijek neodređena, štoviše, »cijela narav i sposobnost ove krivulje ne može se posve odrediti ako se ne prouči sveopća narav svih tjelesa«. ⁶⁴ K tome, sva opća mehanička svojstva tjelesa, kao i mnoga među posebnim svojstvima, ovise posve i samo o ovom obliku krivulje silâ ⁶⁵ Tu je opet na djelu plodotvorno prožimanje osnovâ mehanike i Boškovićeve teorije silâ. Dok u raspravi *De viribus vivis* Bošković tumačenjem izabranih fizičkih fenomena pronalazi temeljni oblik svoje krivulje silâ, dotle u raspravi *De lumine 2* Boškovićev postupak ima suprotni smjer: obrazlaganjem toka dane krivulje silâ prema utemeljenju mehanike. Indukcija ustupa mjesto dedukciji. Sažeto ću prikazati bitne novosti u Boškovićevu tumačenju općih mehaničkih svojstava s pomoću krivulje silâ.

Između svih pitanja koja se odnose na osnove mehanike za Boškovića se kao prvo i temeljno postavlja pitanje o obliku i nepromjenjivosti prvih elemenata tvari (*forma et immutabilitas primorum materiae elementorum*). ⁶⁶ A to pitanje valja doista razumjeti kao pitanje o *strukturi tvari* jer nije više riječ o tjelešcima (*corpusculae*) ili o česticama (*particulae*), nego *prvi put* o prvim elementima tvari. Bošković tvrdi: »prvi elementi tvari su nedjeljive i neprotežne točke«, ⁶⁷ a dokaz provodi *a contrario*.

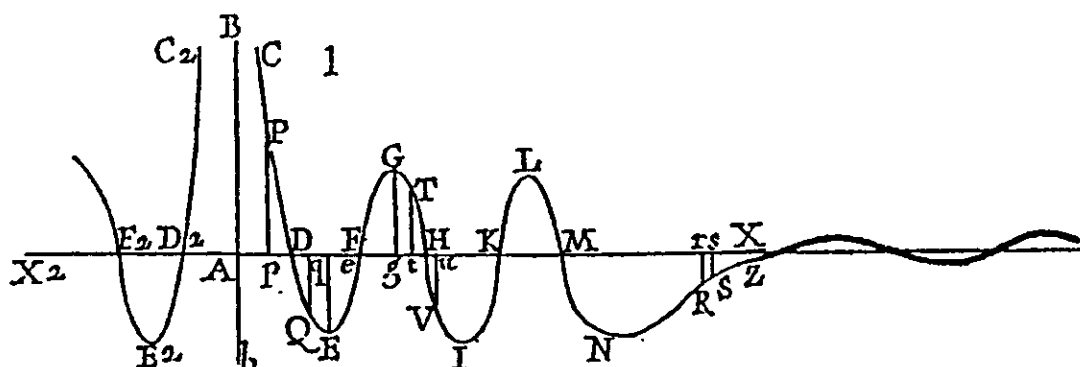
Neka se pretpostavi da je neka, ma kako neznatna čestica tvari savršeno čvrsta i sasvim neprekinuta. Ako je ona neprekinuta, to znači da ima dijelove koji se dodiruju (*partes contiguae*). A ako se sad postojanje takvih dijelova shvati u obliku koji omogućuje obrazloženje s pomoću krivulje silâ, to jest shvati kao da se međusobna udaljenost dijelova smanjuje u beskonačnost, onda na temelju krivulje silâ slijedi da se između tih dijelova javlja odbojna sila koja raste u beskonačnost i djeluje da se dodirnuti dijelovi međusobno udaljuju. Pošavši

⁶⁴ »Hujus curvae tota natura, atque indoles satis determinari non potest, nisi perspecta universa omnium corporum natura«, u L2, n. 6, p. 2.

⁶⁵ »Hac curvae forma dicimus explicari optimè omnes generales mechanicas corporum proprietates, et plurimas e particularibus, quin immo censemus omnes prorsus hinc tantum pendere«, u L2, n. 7.

⁶⁶ L2, l. c.

⁶⁷ »Nam in primis oportet prima materiae elementa esse puncta indivisibilia, et inextensa«, u L2, n. 8.



Sl. 6 Djelovanje sile na najvećim udaljenostima u području zvijezda stajačica

Rekonstrukcija prema *De lumine* 2, 1748, n. 6 i *De viribus vivis*, 1745, n. 59

od hipoteze dodirnutih dijelova *ex ipsa hypothesis partium contiguarum*) u nekoj nezatnoj čestici tvari Bošković stiže do zaključka kojim se pobija da ta čestica tvori dodirninu. Stoga ona, u skladu s Aristotelovim naukom o odnosima slijednine, dodirnine i neprekidnine,⁶⁸ ne može tvoriti ni neprekidninu. Još više to vrijedi za prvi element tvari. Ostaje zaključiti da je prvi element tvari nedjeljiva i neprotežna točka koja stoji izdvojeno. Sva tri svojstva koja Bošković pridjeljuje točki tvari znače samo jedno: tvar nije neprekinuta, tvar je diskretna.

Učinkovitost Boškovićeve deduktivnog postupka očituje se osobito u tumačenju još jednog iz »stalnog i trajnog reda fenomena«: kohezije dijelova (*cohaesio partium*).⁶⁹ To tumačenje zavređuje prosudbu, prvo zbog toga što pokazuje kako Bošković odstupa od Newtonovih shvaćanja i s pomoću krivulje silâ s lakoćom dolazi do vlastitog izvornog rješenja, a zatim i zbog toga jer sadrži bitnu novost u odnosu prema iz-

⁶⁸ »A očigledno je da je pritom najprvotnija slijednina, jer dodirnina nužno mora biti dodirnina. ... A je li štogod neprekidnina, mora nužno biti dodirnina; obratno, ako je što dodirnina, time još nije neprekidnina«, u: ARISTOTEL, *Fizika V*, 3, 227 a 17–27. Usporedi prijevode: ARISTOTELES, *Physikvorlesung*, u: Aristoteles Werke 11, hrsg. Hellmut Flashar, Darmstadt 1983, p. 136, 603–604; O. BECKER, *Grundlagen der Mathematik in geschichtlicher Entwicklung*, Freiburg 1964², p. 71; zatim i moje tumačenje odnosnog teksta: I. MARTINOVIĆ, *Problem neprekinutosti i beskonačnosti kod Ruđera Boškovića*, magistarski rad, Zagreb 1984, pp. 18–21.

⁶⁹ L2, nn. 20–24, pp. 9–12.

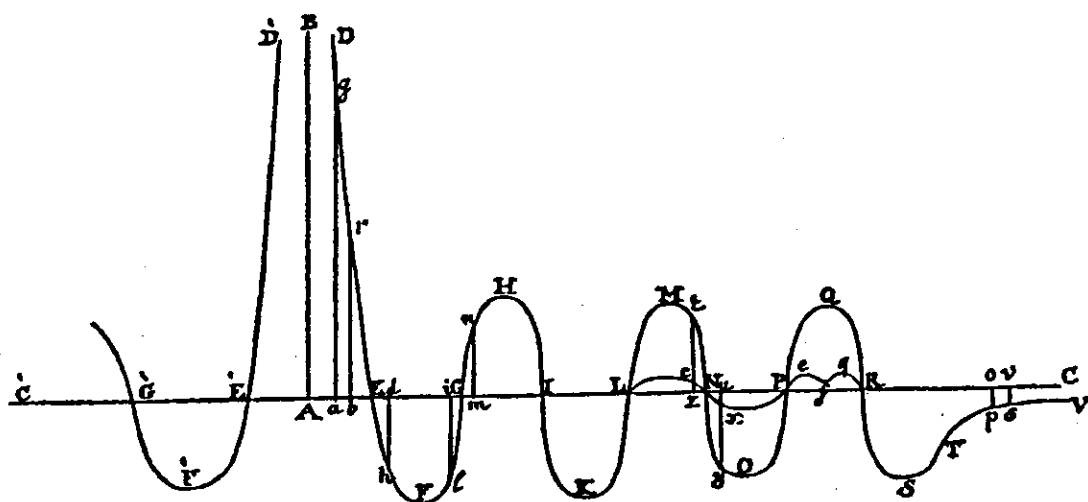
laganju u raspravi *De viribus vivis*: konkretizaciju nultočaka krivulje silâ uvođenjem granica kohezije i nekohezije kao dviju različitih vrsta granica.

Newton objašnjava koheziju dijelova s pomoću maksimalne privlačne sile u samom dodiru tih dijelova. Takvo rješenje za Boškovića je neprihvatljivo zbog njegova osnovnog zahtjeva: djelovanja odbojnih sila na vrlo malim udaljenostima. Ostaje mu razmatrati nultočke krivulje koje je već jednom, u raspravi *De viribus vivis*, upotrijebio za tumačenje adhezije i izgradnje većih čestica i tada ih nazivao *granicama privlačnja i odbijanja*. Sada ide korak dalje jer ispituje što se događa s česticama ako se one nalaze u nultočkama krivulje, i to posebno u onima u kojima se uz povećanje udaljenosti vrši prijelaz od odbojne u privlačnu silu, a posebno u onima gdje prijelaz ima protivni karakter.

Neka jedna točka tvari leži u točki A, a druga u jednoj od točaka u kojima se s povećanjem udaljenosti zbiva prijelaz od odbojne na privlačnu silu, primjerice u točki D (Sl. 5). Sve dok ne djeluju neke druge sile te točke tvari miruju. Ali ako se zbog djelovanja sile smanji udaljenost između tih čestica, javlja se odmah odbojna sila koja nastoji vratiti česticu u položaj D, a ako se zbog djelovanja druge vanjske sile ta udaljenost poveća, javlja se privlačna sila koja nastoji vratiti česticu na prvobitnu udaljenost. U oba slučaja javlja se sila koja se protivi promjeni položaja čestice. Stoga je opravdano takvu nultočku krivulje silâ nazvati *granicom kohezije*.

Što se, međutim, događa ako se druga od točaka tvari nalazi na položajima u kojima se privlačna sila pretvara u odbojnu kad se udaljenost povećava, primjerice u položaju F? Ako se točke, ma kako neznatno to bilo, međusobno približe, javlja se privlačna sila koja ih nastoji još više približiti, a ako se, naprotiv, udalje, javlja se odbojna sila koja ih nastoji još više udaljiti. Dakle, u oba slučaja čestica se zbog djelovanja neke vanjske sile udaljava od početnog položaja, pa je opravdano takvu nultočku krivulje zvati *granicom nekohezije*. Uz ovakvo dvojako prepoznavanje nultočaka krivulje silâ neposredno slijede svi fenomeni koji prate koheziju dijelova, odnosno raskinuće fizičkog tijela, što prvenstveno ovisi o tome nalaze li se točke tvari na udaljenostima koje odgovaraju razmacima granica kohezije ili nekohezije.

U raspravi *De lumine 2* Bošković i dalje nastavlja tumačiti fizičke fenomene pomoću principa neprekinutosti i njegova matematičko-fizičkog oličenja u krivulji silâ, ali s razlikovanjem granica kohezije i nekohezije on dovršava ispitivanje toka krivulje silâ, koje je u *De viribus vivis* izveo induktivnim putem, a u *De lumine 2* proveo deduktivnim putem. Tumačeći fizičke fenomene u *De lumine 2* Bošković nastupa drukčije nego u raspravi *De viribus vivis* kad je tek započinjao razvijati svoje teorijske zamisli. On samosvjesno i izričito uspoređuje svoju teoriju silâ s Newtonovom. Ponajprije, uvjeren je kako



Sl. 7 Konačni oblik Boškovićeve krivulje silâ
De lege virium in natura existentium, 1755, fig. 9

iz kombinacije njegovih točaka tvari mnogo jasnije nego u tumačenjima atomista i Newtona slijedi »stalni i trajni red fenomena i tkanje tjelesa« (*constans, et permanens ordo phenomenon, et textura corporum*).⁷⁰ K tome, on izričito razglaba Newtonov ideal o malom broju principa s pomoću kojih bi se protumačili svi prirodni fenomeni. Newton je izabrao tri principa: gravitaciju, uzrok fermentacije i uzrok kohezije dijelova, da bi protumačio gibanje čestica i razne prirodne fenomene. A Bošković tvrdi da i ta tri principa proizlaze iz jednog jedinoga.⁷¹ Newtonov *desiderandum* u istraživanju prirode prometnuo se kod Boškovića u jedinstveni princip (*unicum principium*): neprekinuta krivulja silâ i odatle dokazana točkasta struktura tvari.

Opis krivulje u *De lumine 2* (Sl. 5) valja smatrati konačnim. Mada je Bošković u raspravama *De viribus vivis* i *De lumine 2* predlagao njezinu korekciju na najvećim udaljenostima, na udaljenostima između zvijezda stajačica (Sl. 6), identičan oblik krivulje pojavljuje se u narednim Boškovićevim radovima, a među njima najprije u raspravi *De lege virium in natura existentium* (Sl. 7). Ti Boškovićevi spisi kao novost sadrže elemente matematičke analize krivulje i pokušaje njezina analitičkog prikaza, te primjene krivulje na brojne mehaničke i fi-

⁷⁰ L2, n. 9, p. 4.

⁷¹ »... tum illa ipsa tria principia Graivtatis, Cohesionis, Fermentationis ab unico tantum principio profluunt...«, u L2, n. 58, p. 24; zaokruženo Boškovićevo sučeljavanje s Newtonovim gledištima u *Query 31* sadržano je u L2, nn. 56–58, pp. 23–25. Cfr. Ž. MARKOVIĆ: *Ruđe Bošković I*, pp. 412–413.

zičke probleme.⁷² No, uza sva obogaćenja, trajnima ostaju ovi temeljni Boškovićeви stavovi:

Sila koja djeluje među fizičkim objektima, bilo da je riječ o točkama i česticama tvari, fizičkim tijelima, planetama i zvijezdama stajačicama, isključivo ovisi o udaljenosti između tih objekata, a razmak između njih uvijek postoji. Ovisnost sile o udaljenosti izražava se neprekinutom krivuljom (*curva continua*), za koju Bošković najčešće upotrebljava naziv zakon silâ (*lex virium*), dok Boškovićeви suvremenici usvajaju naziv Boškovićeve krivulje (*curva Boscovichiana*).⁷³ Tumačenja strukture, nepрониčnosti i protežnosti tvari, prvotna među tumačenjima, mnogih drugih fizičkih fenomena, predstavljaju indirektan odgovor na pitanje kako je u fizičko-matematičkoj stvari moguće iz općih principa izvesti teoriju silâ: samo tako što se dosljedno istražuju i valjano primjenjuju princip neprekinutosti i beskonačni postupci u geometriji i prirodi.

Nadahnuća i izvorne vrijednosti Boškovićeve dedukcije

Iz istraživanja Boškovićevih rasprava *De viribus vivis* i *Dissertationis de lumine pars secunda*, dakle iz istraživanja Boškovićeve misaonog vidokruga u razdoblju 1745.—1748., slijedi da temeljna dedukcija Boškovićeve filozofije prirode sadrži pet koraka:

⁷² Tekstualni opis bez ulaženja u detaljne analize u *De continuitatis lege*, Romae 1754., n. 159; šest matematičkih uvjeta koji određuju krivulju silâ u *De lege virium in natura existentium*, Romae 1755., n. 76; kronologija pojavljivanja krivulje u *De materiae divisibilitate et principii corporum*, u *Memorie sopra la Fisica e Istoria Naturale IV*, Lucca 1757., n. 20, p. 167; sustavno izlaganje krivulje u TPhN, nn. 117—130; analitički prikaz krivulje u *Solutio analytica Problematis determinantis naturam legis virium. Supplementum III.*, u TPhN, pp. 277—288; tumačenje zakona silâ u bilješkama uz stihove *Philosophiae recentioris a Benedicto Stay*, tomus III., Romae 1792., vv. 1719—2064, pp. 438—468.

⁷³ »... curva, che dal nome del Chiarissimo Autore detta viene Boscovichiana...«, u: A. ROTA: *Ragionamento su la teoria fisico-matematica del P. Ruggiero Giuseppe Boscovich*, Roma 1763., n. 17, p. 16; *Quesiti appartenenti alla curva Boscovichiana*, o. c., pp. 54—55; »... curvae, quae ab auctoris sui nomine Boscovichiana dici debet, natura...«, u: *Philosophiae recentioris a Benedicto Stay*, tomus III. *Argumentum libri decimi*, p. XIII »Methodo in superiore adnotatione exposita ego itidem exprimo meam virium legem per curvam, quam plures jam a meo nomine Boscovichianam appellant...«, o. c., p. 438.

- (1) analogija i jednostavnost prirode (*analogia et simplicitas naturae*),
- (2) princip neprekinutosti (*principium continuitatis = lex continuitatis*),
- (3) neprekinuta krivulja silâ (*lex virium = curva virium Boscovichiana*),
- (4) model izgradnje većih čestica od manjih (*compositio particularum majorum ex minoribus*),
- (5) struktura tvari koju izražavaju nedjeljive i neprotežne točke, međusobno odijeljene nekim razmakom (*puncta indivisibilia, et inextensa a se invicem per aliquod intervallum disjuncta*).⁷⁴

Po tome kako sam ih uspio uobličiti i protumačiti iz nesistematičnih tekstova ovih dviju ranih Boškovićevih rasprava, od kojih je prva prema jednom kasnijem svjedočanstvu samog pisca »izrečena istim redom kojim mu je prvi put pala na um«,⁷⁵ čini se da su ovih pet koraka Boškovićeve temeljne dedukcije izvedeni jedan iz drugoga logičkom nužnošću. Sâm Bošković upućuje na to da njegovu dedukciju valja razumijevati kao neizbježan i jedini mogući put zaključivanja kad svoje zaključivanje ili umovanje označuje kao »izravno«, »ispravno«, »valjano«. ⁷⁶ Je li baš tako? U tijeku svog zaključivanja Bošković se više puta morao odlučiti kamo će krenuti. To odlučivanje bilo je prostor za pustolovinu duha, pa ako je Bošković u nečemu bio dosljedan, bio je u tome da je u sklopu svoje temeljne dedukcije znao izbjeći ili svladati *opće shvaćanje* bilo koje provenijencije baš onda kad bi ono pre-priječilo put daljoj dedukciji. Tako je bilo na samom početku dedukcije prilikom izvođenja principa neprekinutosti iz zahtjeva analogije i jednostavnosti prirode. U činu protjerivanja sraza, dodira, prekida i skoka iz prirode bilo je prisutno to korjenito odstupanje od općeg shvaćanja kartezijanaca. Dakako, i konačni rezultat te dedukcije bio je protiv općeg shvaćanja atomista i newtonovaca: izgraditi protežnost iz neprotežnih točaka, ukinuti kuglice, grudice, ma kakve materijalne predodžbe osnovnih elemenata tvari. Zato je Bošković oduše-

⁷⁴ L2, n. 8.

⁷⁵ »Pleraque ex iis, quae dicturus sum, duobus ab hinc annis partim exposui, partim innui in dissertatione de Viribus Vivis edita primum hic Romae anno 1745. ..., minus digesta illa quidem, et eodem ordine, quo primum in mentem venerant enunciatæ, u: R. BOŠKOVIĆ, *De materiae divisibilitate et principiis corporum*, u *Memorie sopra la fisica e istoria naturale IV*, Lucca 1757. (conscripta jam ab anno 1748.), n. 2.

⁷⁶ »recta ratiocinatione«, u: VV, n. 47, »directa igitur ratiocinatione« u VV, n. 49, »legitima ratiocinatione« u TPhN, p. XVI.

vio Nietzschea. Upravo na temelju tog završnog koraka svoje dedukcije Bošković je za Nietzschea bio »zajedno s Poljakom Kopernikom dosad najveći i najpobjedonosniji protivnik pričina«, a Boškovićev otklon vjere u tvar, u atome zemne ostatke ili grudice Nietzsche je doživljavao kao »najveći trijumf nad osjetilima dosad postignut na zemlji«. ⁷⁷ Iz istog izvora potječe i Nietzscheov iskaz kako je jedna od odrednica njegova filozofskog razvoja i to »da ne vjeruje u 'materiju' i Boškovića smatra jednom od velikih prekretnica, poput Kopernika«. ⁷⁸

Bošković se, dakle, u svojoj filozofiji prirode izborio za izvorne rezultate. U usporedbi s Newtonovim i Leibnizovim sustavom, koju je Bošković izradio na početku svoje *Theoria*, ⁷⁹ te rezultate on je jasno formulirao. Protivno Leibnizovim gledištima, on je zastupao prekinutu ili diskretnu protežnost tvari, kao i homogenost u osnovnim elementima tvari koji rasporedom i kombinacijom dobivaju svu različitost u masama. Boškovićev *jedinstveni zakon silâ* (*unica lex virium*) i njegovi matematički izrazi: jedinstvena nesastavljena algebarska formula (*unica non composita algebraica formula*) i jedinstvena neprekinuta geometrijska krivulja (*unica continua geometrica curva*) zaokret su u odnosu prema tri Newtonova principa: gravitacija, kohezija i fermentacija. Postojanje potencijalno beskonačne odbojne sile na beskonačno malim udaljenostima protivi se izričito Newtonovu mišljenju da baš u tom slučaju djeluje maksimalna privlačna sila. Dosljedno, prema Newtonu takvom se privlačnom silom ostvaruje kohezija dijelova, dok po Boškovićevu mišljenju kohezija dijelova nastaje rasporedom čestica na granice kohezije kao posebno odlikovane položaje u kojima se zbiva prijelaz od odbojne na privlačnu silu.

Očigledno, Bošković uspoređuje tri različite filozofije prirode: svoju teoriju silâ, Leibnizov i Newtonov sustav, i to u njihovim učincima, u krajnjim rezultatima. Usporedbu Boškovićevih gledišta s Leibnizovim i Newtonovim potrebno je, međutim, provesti u epistemološkim polazištima i u tijeku temeljne dedukcije Boškovićeve filozofije prirode, jer se upravo tu iskazuju izvorne vrijednosti Boškovićeva misaonog postupka i jer se tu odlučuje samosvojnost i izvornost Boškovićevih konačnih ishoda u istraživanju prirode.

⁷⁷ »mitsammt dem Polen Kopernikus, bisher der grösste und siegreichste Gegner des Augenscheins«, »der grösste Triumph über die Sinne, der bisher auf Erden errungen worden ist«, u: F. NIETZSCHE, *Jenseits von Gut und Böse*, u: *Nietzsches Werke VII*, Kröner Verlag in Leipzig 1918., n. 12, p. 22.

⁷⁸ »dass ich nicht an 'Materie' glaube und Boscovich für einen der grossen Wendepunkte halte, wie Kopernikus«, u: F. NIETZSCHE, *Aus dem Vorreden-Material (1885—1888)*, u *Nietzsches Werke XIV*, Leipzig 1904., n. 215.

⁷⁹ TPhN, nn. 2—4.

Na početku temeljne dedukcije Boškovićeve filozofije prirode stoji zahtjev analogije i jednostavnosti prirode. Bošković ga je uobličio uvažavajući isto filozofsko naslijeđe koje je Newton ugradio u svoja obrazloženja uz *Regulae philosophandi* na početku trećeg sveska *Philosophiae naturalis principia mathematica*. U obrazloženju uz *Regula prima* Newton je istaknuo načelo štedljivosti (*principium parsimoniae*) kao nespornu filozofsku tekovinu i kao odlučno metodološko gledište u tumačenju fenomena: »Priroda je, naime, jednostavna i ne obiluje suvišnim uzrocima stvari.«⁸⁰ U obrazloženju uz *Regula tertia* on je tu zasadu produbio do važnog naputka za eksperimentalnu praksu: »Sigurno, protiv niza eksperimenata ne treba nasumice izmišljati sanje, niti treba odustati od analogije prirode, budući da je ona jednostavna i uvijek sebi suglasna.«⁸¹ Newtonov naputak o analogiji prirode kao smislenom teorijskom izboru u slučaju nesuglasja s eksperimentima Bošković je dosljedno provodio u tijeku temeljne dedukcije, kako sam redovito isticao u ovoj raspravi. Doduše, nisam utvrdio neposredno Boškovićevo nadahnuće dotičnim Newtonovim gledištem. Ipak, za jedan sličan stav, sadržan u *Query 31* Newtonove *Opticks*, postoji neposredna potvrda u predgovoru bečkom izdanju Boškovićeve *Theoria*. Tu se Bošković izričito poziva na Newtonov stav da je »cjelokupna priroda vrlo jednostavna i suslična sebi«,⁸² a to je i bilo Boškovićevo polazište 1745. godine.

Od zahtjeva analogije i jednostavnosti prirode prema principu neprekinutosti Bošković je krenuo vlastitim putem. Zacijelo, rezultat on dijeli s Leibnizom i njegovim istomišljenicima, dok je postupak izvođenja izvoran i izvorno primjenjivan u idućim koracima Boškovićeve dedukcije. U čemu se razlikuju Leibnizov i Boškovićev pristup? Leibniz je redovito upotrebljavao metafizičke principe kad je tražio ili provjeravao empirijske zakone. On nije uviđao bilo kakvu teškoću u primjeni metafizičkog principa u geometriji ili fizici, niti u opovrgavanju posebnih empirijskih zakona s pomoću metafizičkih principa. Posebno, princip s kojim se osobito ponosio, *zakon neprekinutosti*, primjenjivao je na teoriju čunjosječnica i za-

⁸⁰ »Natura enim simplex est et rerum causis superfluis non luxuriat«, u: I. NEWTON, *Regulae philosophandi*, u: *Philosophiae naturalis principia mathematica. De Mundi systemate liber tertius*. Tomi tertii pars I., ed. T. Le Seur et F. Jacquier, Genevae 1742., p. 2. Bošković se služio ovim izdanjem *Principia*.

⁸¹ »Certè contra experimentorum tenorem somnia temerè confingenda non sunt, nec à naturae analogiâ recedendum est, cum ea simplex esse soleat et sibi semper consona«, o. c., p. 3.

⁸² »... jam Natura universa valde erit simplex, et consimilis sui, ...«, u TPhN, p. XV; cfr. »And thus Nature will be very conformable to herself, and very simple«, u: I. NEWTON, *Opticks III. Query 31. Necessity of active principles*, p. 258.

kone sraza, a služio mu je kao opće mjerilo i kamen kušac za posebne zakone gibanja.⁸³ Tako je s pomoću njega podvrgnuo oštroj kritici Descartesova pravila sraza: »Ako tom zahtjevu (principu neprekinutosti) nije udovoljeno, bit će to najsigurniji znak za to da su postavljena pravila manjkava i da među njima nema suglasnosti.«⁸⁴ Bošković je postupio protivno. Smatrao je da je potrebno specificirati *uvjet* uz koji se njegov osnovni epistemološki zahtjev, analogija i jednostavnost prirode, smije primjenjivati u prirodi i geometriji. Taj uvjet nedvojbeno je razlikovanje *matematički dodir-fizički dodir* u sklopu Boškovićeve gledišta o neutemeljivosti ljudske spoznaje u osjetilima. I dok je Leibniz s pomoću principa neprekinutosti izložio kritici fenomen sraza u Descartesovu tumačenju, dotle je Bošković isključenjem matematičkog dodira iz prirode i uvođenjem potencijalno beskonačne odbojne sile na beskonačno malim udaljenostima upravo deducirao taj isti princip. Ne samo da je razlikovanje matematičkog i fizičkog dodira poslužilo Boškoviću u zaključivanju od zahtjeva analogije i jednostavnosti prirode na zakon neprekinutosti, nego i u narednom koraku dedukcije, u zaključivanju od zakona neprekinutosti na tumačenje strukture tvari.

K tome, razlikovanje *matematički dodir* — *fizički dodir* očituje Boškovićeve stav spram odnosa teorije i iskustva. Ključno je pitanje na koji je način odrediv odnos teorije i iskustva. Da li je taj odnos odrediv empirijski ili teorijski? Bošković ustaje protiv naivnog rješenja o empirijski odredivoj vezi teorije i iskustva. On generira teorijski pojam ili teorijsku predodžbu *fizičkog dodira* koji nema korelat u opažanju, niti je na tadašnjem stupnju razvoja eksperimentalne prakse moguće ustanoviti takav korelat. Time Bošković utire put kategorijalnom aparatu suvremene logičke filozofije znanosti koja jasno luči jezik opažanja od jezika teorije.

Boškovićeve dedukcija principa neprekinutosti iz analogije i jednostavnosti prirode otvorena je daljem filozofskom propitivanju, ali je položaj principa neprekinutosti u sklopu temeljne dedukcije Boškovićeve filozofije prirode neprijeporan, dakako na temelju dva izričita Boškovićeve iskaza u raspravi *De viribus vivis*. Pa ipak, u dosadašnjim istraživanjima Boškovićeve filozofije prirode princip neprekinutosti doživio je više različitih tumačenja. Tako je D. Nedeljković princip ne-

⁸³ Cfr. G. W. LEIBNIZ, *Über das Kontinuitätsprinzip (1687.)*, u: *Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie I*, hrsg. E. Cassirer, Meiner Verlag, Hamburg 1966, pp. 84—88; ID., *Bemerkungen zum allgemeinen Teil der Kartesischen Prinzipien (1692.)*, u *Hauptschriften I*, pp. 319—320; u hrvatskom prijevodu: G. W. LEIBNIZ, *O načelu kontinuiteta*, u: *Izabrani filozofski spisi*, Zagreb 1980, pp. 18—21; ID., *Primjedbe uz opći dio Descartesovih načela*, u: *Izabrani filozofski spisi*, pp. 53—54.

⁸⁴ G. W. LEIBNIZ, *Über das Kontinuitätsprinzip*, u: *Hauptschriften I*, p. 86; ID., *O načelu kontinuiteta*, u: *Izabrani filozofski spisi*, p. 20.

prekinutosti razmatrao isključivo u njegovoj induktivnoj ulozi, naime kao »prvi indukovani, prirodni i racionalni, osnovni zakon koji je bitna objektivna i logička osnova pre svega svih induktivnih zaključaka, ali isto tako i deduktivnih, zakon koji je on mogao takođe s metafizičkog stanovišta smatrati kao postuliran i postavljen *a priori*, ali koji je on ustvari naučno pre svega prvom i osnovnom indukcijom izvodio i dokazivao.«⁶⁵ Pritom je Boškovićevu principu neprekinutosti pridijelio isto značenje koje je u britanskih logičara, a prvenstveno u W. Hamiltona i J. S. Milla, imala *uniformity of nature*.⁶⁶ Drukčijeg mišljenja bio je Ž. Marković. On je trajno upozoravao da »u proučavanju Boškovićeve prirodne filozofije treba najprije uočiti dva opća načela na koja se on kao na čvrst oslonac stalno upire na putu u svoj *novi svijet*«,⁶⁷ a to su: jednostavnost i sličnost u prirodi i zakon neprekinutosti. Dakle, u Nedeljkovićevu tumačenju zahtjev analogije i jednostavnosti prirode i princip neprekinutosti zamijenili su uloge, a u Markovićevu postali su dva jednakovrijedna principa u istraživanju prirode. Iz perspektive ranih Boškovićevih rasprava nije moguće prihvatiti ove zaključke. Naime, oba tumačenja previđaju Boškovićev postupak: dedukciju principa neprekinutosti iz analogije i jednostavnosti prirode, pa prema tome i filozofske implikacije takvoga Boškovićeve rješenja.

Drugi važan zaokret spram filozofskog i prirodoznanstvenog naslijeđa Bošković je proveo u daljem tijeku svoje temeljne dedukcije. U tumačenju strukture tvari on se dvaput korjenito suprotstavio newtonizmu. Nedvojbeno, Boškovićev zaključak o neprotežnim točkama tvari, dakle završni korak njegove temeljne dedukcije, valja vrednovati kao važnu inverziju Newtonova obrazloženja uz *Regula tertia*:

»Protežnost, čvrstoća, neproničnost, gibljivost i težina cjeline potječu od istih svojstava dijelova; odatle zaključujemo da su i najmanji dijelovi tjelesa na isti način protežni, čvrsti, nepronični, gibljivi i obdareni silom teže. U tome se sastoji temelj čitave filozofije.«⁶⁸

Newtonovu stavu da opće svojstvo cjeline potječe od općeg svojstva dijela Bošković se suprotstavio tvrdnjom da protežnu tvar grade neprotežne točke tvari. To je prvi Boškovićev pro-

⁶⁵ D. NEDELJKOVIĆ, *Ruđer Bošković o indukciji*, u: *Glas SANU* 255 (1963), p. 66.

⁶⁶ D. NEDELJKOVIĆ, a. c., pp. 66—67.

⁶⁷ Ž. MARKOVIĆ, *Ruđer Bošković I*, Zagreb 1968, p. 413. O »dva vrlo opća principa u njegovu [Boškovićevu] filozofijskom razmatranju prirode« vidi i ranije radove: Ž. MARKOVIĆ, *O dvjestagodišnjici Philosophiae naturalis Theoria*, pp. 14—15; ID., *Bosovich's Theoria*, u: L. L. WHYTE, *Roger Joseph Bosovich*, p. 132.

⁶⁸ I. NEWTON, *Regulae philosophandi*, u: *Philosophiae naturalis principia mathematica III*, Genevae 1742, p. 3.

dor kroz epistemološku barijeru newtonizma. Drugi se tiče Newtonova modela izgradnje čestica kojemu je u osnovi tumačenje kohezije čestica s pomoću maksimalnih privlačnih sila:

»Male čestice tvari mogu prijanjati s najjačim privlačenjima i sastavljati veće čestice slabijeg djelovanja, a mnoge od ovih čestica mogu prijanjati i sastavljati veće čestice (kojih je djelovanje još slabije, i tako dalje u različitim slijedovima, sve dok napredovanje ne završi s najvećim česticama o kojima ovise operacije u kemiji i boje prirodnih tijela, a koje prijanjanjem sastavljaju tijela zamjetljive veličine.«⁸⁹

Newton u procesu sastavljanja čestica dopušta da se sile koje djeluju među česticama, ovisno o razini proučavanja, razlikuju u stupnju jakosti: najjača, slabija, još slabija. Naprotiv, Bošković u istom procesu dopušta mogućnost da se na nekoj razini istraživanja pronađe bitno drukčiji zakon sila, dakako u skladu s principom superpozicije ili odabranim matematičkim instrumentarijem. To u krajnjoj posljedici znači da se na nekoj razini istraživanja može ustanoviti diskontinuitet u zakonu sila. A to je dalekosežan zaključak jer korespondira s razvojem kvantne mehanike.

Bošković je u tijeku temeljne dedukcije svoje filozofije prirode izvršio korjenite zaokrete u odnosu prema Leibnizovu i Newtonovu sustavu prirode. On ih je morao izvršiti da bi svoju dedukciju proveo od općeg epistemološkog zahtjeva analogije i jednostavnosti prirode do završnog zaključka o neprotežnim točkama tvari, da bi uopće razvio svoje izvorne zamisli o djelovanju silâ u prirodi i o strukturi tvari. A to doista nije tako tematizirano u Boškovićevu sistematskom pregledu na početku *Theoria philosophiae naturalis* o sličnostima i razlikama njegove teorije silâ spram Leibnizova i Newtonova sustava. To slijedi tek iz proučavanja geneze Boškovićeve filozofije prirode.

⁸⁹ I. NEWTON, *Opticks. Query 31*, p. 256.

FILOZOFIJA ZNANOSTI RUĐERA BOŠKOVIĆA

Radovi simpozija
Filozofsko-teološkog instituta, DI



Zagreb 1987