

ćenih Romana i davno pridošlih Hrvata. Zahvaljujući Varošanima Split je u etničkom smislu trajno ostajao hrvatski. Da je bio sveden samo na svoj »stari« i »novi« dio, vjerojatno bi u dolazećim vremenima iz jezično talijanskog prerastao u nacionalno talijanski grad. Split, dakle, sa složenom jezičnom i socijalnom stvarnošću ulazi u novo, burno razdoblje postojanja u kojem latentni hrvatski i talijanski identitet, mada ne pravocrtno, stječu svoju političku dimenziju.

Saša Mrduljaš

The Ethnicity of Split during Venetian and Ottoman Domination in the present-day Region of Dalmatia

The most important ethnic process in Split was its gradual transformation from a Roman-Dalmatian to an ethnic Croatian town during the Middle Ages. Following the completion of this process in the 14th century, Split assumed the role as one of the centres of Croatian folk culture that produced the *father of Croatian literature*, Marko Marulić. However, in the climate of Venetian and Ottoman domination in the present-day region of Dalmatia, fundamental changes in the ethnicity of Split took place. Until the early 18th century liberation of mainly continental Dalmatia from the Ottomans, Split remained a predominantly Croatian town. Nevertheless, the Ottoman invasion and in particular the devastating epidemics extremely reduced the elderly population. It was replaced by Croats from the immediate surroundings of Split, mostly from neighbouring Poljica. Hence, these new settlers and their descendants proportionally became crucial bearers of old Split Croatian identity. During the 18th century until the fall of the Venetian government, there was another significant, far-reaching ethnic change. With elimination of Ottoman threat, almost autonomous agrarian suburb settlements were stabilised around the centre of Split: Veli Varoš, Dobri, Manuš, and Lučac. Simultaneously with the sharp spatial separation of the peasant Croatian-Chakavian population from the core of Split, a significant number of Italian immigrants arrived. Due to their number, they substantially contributed to the Italianisation of the language for a large part of the Croatian population in the town centre and to the social stratification.

Dualizam ili monizam sila u prirodi? Boškovićev zakon privlačno-odbojnih sila

Stipe KUTLEŠA

Institut za filozofiju, Zagreb

Izvorni znanstveni rad
(primljeno: 14. travnja 2012.)
UDK 1Bošković, R.
118

Objašnjenje prirodnih pojava s pomoću koncepta sile kao djelatnog uzroka prevladalo je u novovjekovnoj filozofiji prirode i znanosti. Newtonovim matematiziranjem pojma sile započinje nova paradigma — tzv. klasična mehanika, koja dominira u znanosti sve do kraja 19. stoljeća. Ruder Josip Bošković svojim konceptom privlačno-odbojne sile nije samo dopunio Newtonovo poimanje sile nego je stvorio novu izvornu teoriju koja je sve prirodne pojave objašnjavala s pomoću jednog jedinog zakona sile. U radu se raspravlja o tome kako se događala transformacija u poimanju sile kao aktivnog principa svih promjena te kako je Bošković svojim zakonom sila prevladao prijašnji silnosni dualizam. Posljedice proizašle iz tog zakona postale su temeljne ideje nekih kasnijih znanstvenih teorija.

Ključne riječi: Bošković, Newton, odbojna sila, privlačno-odbojna sila, Boškovićev zakon i krivulja sile, suvremena znanost

Uvod

Pojam sile jedan je od temeljnih pojmova novovjekovne i suvremene znanosti. On je na neki način prisutan u počecima europske filozofijske misli u staroj Grčkoj. Istina je da se u suvremenom značenju artikulirao tek s novovjekovnom prirodnom znanošću, ali je u raznim filozofskim, religijskim i drugim metamorfozama prisutan u starim misaonim sustavima čovječanstva. U tom smislu nije samo i tek prirodoslovni koncept važan za razjašnjenje prirodnih pojava nego je još širi okvir za razumijevanje svekolike prirodne i društvene stvarnosti. Nema dvojbe da su starogrčki filozofijski koncepti ljubavi (*philia*) i mržnje ili sukoba, borbe (*neikos*) kao počela i uzroka svekolike promjene u dugostoljetnoj genezi doveli do prirodoslovnih pojmova (među)djelovanja različitih prirodnih entite-

Prikazani rezultati proizašli su iz znanstvenog projekta *Metafizičko utemeljenje znanosti i njezino osamostaljenje od metafizike* (191-1911113-1095) provedenog uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske te iz projekta *Study Group on Science and Spirituality*, provedenog uz potporu The John Templeton Foundation.

ta.¹ S druge strane već od Aristotela postoji sustavna i jedna od ponajbolje razrađenih teorija uzroka u europskoj i svjetskoj misli. Aristotel je u svom sustavu razradio teoriju o četiri uzroka ili četiri vrste uzroka s pomoću kojih se može objasniti svekoliko djelovanje i promjena u svijetu.² Od poznata četiri Aristotelova uzroka (*causa materialis* — materijalni ili tvarni uzrok, *causa formalis* — formalni ili oblikovni uzrok, *causa efficiens* — djelatni uzrok, *causa finalis* — svršni ili finalni uzrok) u novovjekovnoj je znanosti prevladao djelatni uzrok kao ono što čini da jedno biće ili stvar nastaje iz nečega drugoga ili da se događa promjena iz jednog stanja u drugo. Taj djelatni uzrok Aristotel je nazvao početom kretanja (*arche tes kineseos*), a u novovjekovnoj je prirodnoj filozofiji i prirodnoj znanosti dobilo pojednostavljeno ime sila ili (među)djelovanje. U počecima novog vijeka znanost je pokušavala djelovanje među tvarnim tijelima objasniti silom privlačenja ili gravitacijskom silom. Taj je pojam dugo bio nejasan i ne dokraja artikuliran.³ Kada je jedan od začetnika novovjekovne matematizirane znanosti Isaac Newton »aksiomatizirao« znanost o prirodi (fiziku) pojam sile nije samo dobio pravi legitimitet nego je postao jedan od najvažnijih elemenata aksioma kretanja (gibanja) bez čega se u prirodi nije moglo ništa objasniti. U suvremenoj znanosti pojam sila preimenovan je u međudjelovanje (interakcija) (iako su u upotrebi oba pojma: sile i/ili međudjelovanja).

Još davno prije Newtona bilo je posve jasno da u prirodi postoje dva međusobno suprotna principa djelovanja (sklonost, odbojnost, ljubav, mržnja, privlačenje i odbijanje), ali da su podjednako odgovorna za sva zbivanja i promjene u svijetu. No, teško ih je bilo kvantificirati, tj. iskazati u obliku znanstvenog kvantitativnog iskaza. Newton je prvi koji je Aristotelov djelatni uzrok kvantitativno izrazio u obliku prirodnih zakona poznatih kao Newtonovi zakoni kretanja, koji su uz Newtonov zakon gravitacije postali temelj novovjekovne matematizirane prirodne znanosti ili klasične mehanike. Gravitacijska privlačna sila »zasjenila« je svaku drugu vrstu sila i gotovo potisnula za neko vrijeme razmišljanje i raspravu o tome. Ipak su Newtonovi nasljednici i pristaše ukazivali i na nužnost rasprave o drugoj vrsti principa (sile) osim gravitacijske privlačnosti. Nisu međutim odmaknuli daleko od onoga što je Newton tek spomenuo, naime da se moraju prihvatiti i odbojne sile. Jedan koji je prvi radikalno i dosljedno promislilo pitanje sila bio je Ruđer Josip Bošković. Iako njutnovac, nije se samo odmaknuo od klasičnog Newtonova tumačenja prirodnih zbivanja nego je radikalno od njega odstupio ili, točnije, dopunio Newtonovu teoriju sila. To je bio zalog njegovoj izvornoj teoriji privlačno-odbojnih sila i strukture tvari koja je proizašla iz tog prevladavanja silnosnog dualizma.

¹ Usp. M. JAMMER, *Concept of Force: A Study in the Foundation of Dynamics*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1957, 16-52.

² Usp. J. LOOSE, *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford University Press, New York, 2001⁴, 11-12.

³ Usp. M. JAMMER, *Concept of Force: A Study in the Foundation of Dynamics*, 53-115.

Newton o silama u prirodi

Da bi objasnio sve pojave u prirodi Newtonu nije bila dovoljna gravitacija nego je toj sili dodao još i koheziju i fermentaciju. Kohezija je također vrsta privlačne sile kojom se objašnjavaju pojave koje se ne mogu objasniti gravitacijskim djelovanjem.⁴ Newton je uspio matematički izraziti gravitacijsku silu, ali pri otkrivanju zakonitosti drugih sila nije bio uspješan. Nije uspio naći zakon djelovanja sila kratkoga dometa, npr. zakon sila između svjetlosti i materije. Smatrao je da su sile kratkog dometa odgovorne za pojave kohezije i fermentacije.⁵ Djelovanje gravitacije objašnjavao je s pomoću etera smatrajući da se eter sastoji od vrlo malih (sitnih) čestica obdarenih silama. Eter je smatrao nekim aktivnim principom.⁶ Također je kemijske procese objašnjavao privlačnom silom. U raspravi *De Natura Acidorum* (*O prirodi kiselina*) izlaže teoriju kemijskog privlačenja. Kiseline posjeduju jaku privlačnu silu tako da privlače i čestice vode i čestice zemlje.⁷

Koji je razlog da za Newtona postoje različite vrste privlačnih sila? Iako nije prihvaćao kartezijanski eter i priznavao je postojanje vakuuma, ipak je dopustio postojanje etera, ali drugačijeg od Descartesova etera koji je bio gust. Newtonov je eter, naprotiv, vrlo rijedak i nije homogena supstancija nego prije neka vrsta eterne atmosfere u kojoj se nalaze različite vrste čestica odgovorne za različite vrste privlačenja (gravitacijskog, kohezijskog, kemijskog, električnog, magnetskog).⁸

Newton nije izložio samo teoriju privlačnih sila nego je postavio i ideju o odbojnim silama. Smatrao je da uzrok odbijanja svjetlosti leži u odbojnim silama između svjetlosnih čestica i čestica tijela od kojeg se svjetlost odbija. Pritom je držao da se između tih čestica ne događa dodir. I emisija svjetlosti uzrokovana je odbojnom silom između čestica svjetlosti i čestica tijela koje isijava svjetlost.⁹ Još prije djela *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Matematička načela prirodne filozofije*, 1687.) Newton je u radu *De Aere et Aethere* (*O zraku i eteru*, o. 1673.) pokušao objasniti prirodu sile s pomoću odbojne sile koja postoji kod čestica zraka. Kasnije je u pismu R. Boyleu (1679.) odbojnost prebacio na čestice

⁴ Usp. E. C. MILLINGTON, »Theories of Cohesion in the Seventeenth Century«, *Annals of Science* 5 (1941—47) 3, 253-269.; E. C. MILLINGTON, »Studies in Capilarity and Cohesion in the Eighteenth Century«, *Annals of Science* 5 (1941—47) 4, 352-369.

⁵ Usp. R. McCORMMACH, »John Michell and Henry Cavendish: Weighing the Stars«, *The British Journal for the History of Science* 4 (1968—69), 130-131.

⁶ Opširnije o tome vidi u: J. E. MCGUIRE, »Force, Active Principles, and Newton's Invisible Realm«, *Ambix* 15 (1968) 154-208. O eteru kao aktivnom principu te o uzroku sila vidi: P. M. HEIMANN, J. E. MCGUIRE, »Newtonian Forces and Lockean Powers: Concepts of Matter in Eighteenth-Century Thought«, *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971), 239-245. i P. M. HEIMANN, »Nature is a Perpetual Worker: Newton's Aether and Eighteenth-Century Natural Philosophy«, *Ambix* 20 (1973) 1-25.

⁷ Usp. predgovor *Lexicon Technicum*, vol II, 2. izd. 1723. u kojemu je objavljena ta Newtonova rasprava. Nav. prema: M. BOAS, »Establishment of Mechanical Philosophy«, *Osiris* 10 (1952), 514.

⁸ Usp. M. BOAS, »Establishment of Mechanical Philosophy«, *Osiris* 10 (1952), 518.

⁹ Isto, 515.

etera i zapravo sve sile sveo na svojstva etera.¹⁰ U tom pismu kaže da se čestice pare i zraka drže na međusobnoj udaljenosti zahvaljujući principu odbijanja. U drugoj knjizi *Principia* (1687.) Newton kaže (propozicija 23, teorem 18) da odbojna sila (*repelling force*) među česticama fluida ovisi obrnuto razmjerno o udaljenosti među česticama.¹¹ Zakon odbojnih sila bio bi, prema tome, različit od zakona univerzalne gravitacije. To bi u biti bila dva zakona.

U predgovoru prvom izdanju *Principia* Newton je istaknuo da prirodne pojave ovise o određenim silama koje djeluju među česticama tvari tako da se one međusobno privlače ili odbijaju jedna od druge. Uzroci tih sila nepoznati su i filozofi su se, kaže Newton, uzalud trudili da ih nađu.¹² Newton je vjerovao u postojanje atoma koji su nedjeljivi, ali su kao male kuglice čvrsti i tvrdi bez pora. Oni su osnova te tvari i stvaraju složenije čestice, ove opet složenije i tako dalje. Među takvim česticama su moguće privlačne i odbojne sile. No Newton je o odbojnim silama rekao vrlo malo. Za njega se ni svjetlost ne razlikuje od druge tvari osim u veličini čestica. Svjetlost je podvrgnuta privlačnoj sili kao i sva druga tvar.¹³

U djelu *Optics* (*Optika*, 1704.) Newton je bio jasniji i mnogo izričtiji. Tu je uveo pojam izborne privlačnosti (*elective attractions*) ukazujući na to da pored gravitacijskih, električnih i magnetskih privlačnih sila vjerojatno postoje i druge vrste privlačnih sila koje čestice koje se dodiruju drže skupa vrlo jakim privlačnom silom. Naći te sile posao je eksperimentalne filozofije.¹⁴ Za objašnjenje širenja (ekspanzije) plinova Newton je uveo odbojne sile (*repulsive forces*). Ali njihov uzrok, kao ni uzrok gravitacijskih sila, nije znao; tek ga treba otkriti, mislio je Newton.¹⁵ U poznatom 31. pitanju *Optike* kaže kako se ondje gdje privlačne sile iščezavaju, javljaju odbojne.¹⁶ Tu Newton govori o privlačnim i odbojnim silama u analogiji prema veličinama u algebri.¹⁷ Kao što postoje pozitivne veličine koje se mogu smanjivati i nestati te prijeći u negative, u mehanici privlačenje slabi, nestaje i prelazi u odbijanje.¹⁸ Tvrdio je da se elastični fluidi doista sastoje od čestica koje se međusobno odbijaju. Općenito je vjerovao da čestice imaju moć privlačenja i odbijanja. Drugim riječima, svaka je čestica okružena

¹⁰ Usp. J. E. MCGUIRE, «Force, Active Principles, and Newton's Invisible Realm», *Ambix* 15 (1968), 156.

¹¹ Usp. J. R. PARTINGTON, «Origins of the Atomic Theory», *Annals of Science* 4 (1939—40) 3, 268-269.

¹² Usp. M. BOAS, «Establishment of Mechanical Philosophy», *Osiris* 10 (1952), 507.

¹³ Isto, 508.

¹⁴ Usp. E. C. MILLINGTON, «Studies in Capilarity and Cohesion in the Eighteenth Century», *Annals of Science* 5 (1941—47) 4, 361-363.

¹⁵ Isto, 363.

¹⁶ Usp. P. M. HEIMANN, J. E. MCGUIRE, «Newtonian Forces and Lockean Powers: Concepts of Matter in Eighteenth-Century Thought», *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971), 238.

¹⁷ Usp. J. E. MCGUIRE, «Force, Active Principles, and Newton's Invisible Realm», *Ambix* 15 (1968), 183-184.

¹⁸ Usp. M. BOAS, «Establishment of Mechanical Philosophy», *Osiris* 10 (1952), 516.

sferom privlačenja i ondje gdje ona prestaje nastupa sfera odbijanja, iza nje opet druga sfera privlačenja koja predstavlja gravitaciju koja se proteže u beskonačnost.¹⁹

Njutnovci prije Boškovića

Newtonova prirodna filozofija nije bila prihvaćena onog trenutka kada se pojavila. Trebalo je nekoliko desetljeća da bi bila prihvaćena u samoj Velikoj Britaniji i u Europi. U to je doba u prirodnoj filozofiji još uvijek prevladavala peripatetička aristotelovsko-skolastička prirodna filozofija i kartezijanizam kao nova filozofija prirode koja je potiskivala aristotelizam.²⁰

Još za Newtonova života stvara se znanstveni i filozofski krug koji promiče njegove ideje. Prvi koji je javno u Britaniji propagirao Newtonovu prirodnu filozofiju (osim samog Newtona) bio je škotski znanstvenik David Gregory, koji je predavao na Sveučilištu u Edinburghu. Od 1691. bio je profesor astronomije u Cambridgeu, koji je postao rasadište Newtonovih ideja.²¹ Zahvaljujući obitelji Gregory njutonizam se počeo širiti u Škotskoj, prije svega na Sveučilištu u Edinburghu, tako da se učvrstio već krajem 17. i početkom 18. st. Neposredni utjecaj Newtonovih ideja vidljiv je kod Archibalda Pitcairnea, također iz Edinburgha. Obojica su utjecali na svoje učenike Richarda Meada, Georgea Cheynea, Jamesa Keilla, Johna Keilla, Johna Freinda, Johna Harrisa, Henryja Pembertona i dr.²² Prvom krugu britanskih njutnovaca pripadaju Richard Bentley i William Derham. Oni su u Newtonovim silama vidjeli nematerijalne i nemehaničke principe koji nisu svojstveni tvari nego ih je u tvar utisnuo sam Stvoritelj. Tako je došlo do spiritualizacije sile, prvenstveno privlačne. Dok Bentham uopće i ne spominje Newtonov eter i odbojne sile, Derham ipak spominje one pojave za koje je Newton smatrao da zahtijevaju odbojnu silu.²³ Samuel Clarke preveo je knjigu kartezijanca Jacquesa Rohaulta *Traité de Physique* što ga je potaknulo na to da, usporedivši kartezijanske i antikartezijanske pozicije, postane jedan od glavnih pobornika i zastupnika njutonizma. Njegov prijevod kao i knjiga Johna Keilla bili su vrlo utjecajni u Oxfordu i Cambridgeu iako nisu bili posve njutnovski. Iako je već Newton eksplicitno upotrijebio odbojne sile (u slučaju elastičnosti zraka, djelovanje tijela na svjetlost, kemija soli i sl.) Keill jedva da spominje odbojne

¹⁹ Isto, 517-518.

²⁰ O tome opširnije vidi: Stipe KUTLEŠA, «Počeci newtonizma u Europi i u Hrvatskoj», *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine* 29 (2003), 57-73.

²¹ Usp. R. E. SCHOFIELD, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in An Age of Reason*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey 1970, 25.

²² Usp. A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts/Oxford University Press, London, England 1970, 43-82.; R. E. SCHOFIELD, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in An Age of Reason*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1970, 19-39.

²³ Usp. R. E. SCHOFIELD, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in An Age of Reason*, 21-25.

sile, a Clarke ih doduše prihvaća, ali neke pojave odbija tumačiti s pomoću odbojne sile.²⁴ Keill je (1708.) Newtonovu gravitaciju pokušao primijeniti na objašnjenje svih fizičkih i kemijskih promjena. Profesor kemije u Oxfordu John Freind nije slijepo slijedio Newtona. Imao je drugačije mišljenje u pogledu privlačnih sila kohezije. Te se sile osjećaju na infinitezimalno malim udaljenostima i s udaljavanjem čestica opadaju brže nego s kvadratom udaljenosti. One, dakle, ovise o samoj čestici, tj. njezinoj prirodi i gustoći. Ne djeluju, prema tome, na sve vrste čestica na isti način.²⁵

Prvi koji je proveo eksperimentalna istraživanja s podizanjem tekućine u kapilarnim cijevima u vakuumu i zraku bio je početkom 18. st. Francis Hauksbee. Njegova su istraživanja vodila preciznijim istraživanjima kapilarnog privlačenja, a također uspostavi teorije o privlačenju.²⁶ Zakone sila kratkog doseg eksperimentalno su istraživali još i Brook Taylor i John Theophilus Desaguliers.²⁷ Desaguliers je jasno razlikovao privlačenje koje nije gravitacijsko. To je bilo kohezijsko privlačenje.²⁸

Nakon Newtonove smrti (1717.) njegove su ideje u Velikoj Britaniji, među ostalim, promicali Roger Cotes, Richard Helsham, Robert Smith, Benjamim Worster, Jonathan Edwards, Robert Green, John Rowning i dr. Worster je objavio djelo o principima prirodne filozofije (1722., 2. izd. 1730.), a John Rowning sustav prirodne filozofije (*Compendious System of Natural Philosophy* između 1735.—43.). Iako nisu predavali na sveučilištima njihova su djela ipak našla odjeka u sveučilišnoj nastavi.²⁹ I jedan i drugi smatrali su, uz ostalo, da je tvar tvrda i nepрониčna te troma. Prirodne pojave obojica su tumačili kao rezultat materije na koju djeluju privlačne i odbojne sile koje predstavljaju nematerijalna počela, ali koja za njih nisu okultna nego se očituju u prirodnim pojavama. Uzrok tih sila (privlačenja i odbijanja) jest u Prvom uzroku ili Autoru/Tvorcu svih stvari ili Bogu koji na materiju djeluje posredno ili neposredno. Sile privlačenja i odbijanja, koje su aktivni principi, u samu tvar umetnuo je Bog.³⁰ Za obojicu su

²⁴ Isto, 25-29.

²⁵ Usp. E. C. MILLINGTON, »Studies in Capilarity and Cohesion in the Eighteenth Century«, *Annals of Science* 5 (1941-47) 4, 363.

²⁶ Isto, 353-354.

²⁷ Usp. A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 74-82.

²⁸ Usp. E. C. MILLINGTON, »Studies in Capilarity and Cohesion in the Eighteenth Century«, *Annals of Science* 5 (1941—47) 4, 355-356.

²⁹ Usp. R. E. SCHOFIELD, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in An Age of Reason*, 34-39.

³⁰ Usp. P. M. HEIMANN, J. E. MCGUIRE, »Newtonian Forces and Lockean Powers: Concepts of Matter in Eighteenth-Century Thought«, *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971), 302. Općenito o pojmu sile kod Newtona i o teološkim tumačenjima Newtonove mehanike vidi: M. JAMMER, *Concepts of Force: A Study in the Foundation of Dynamics*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1957, 116-146. i 147-157.

glavne predstavnice privlačnih sila gravitacija i kohezija. Privlačne sile, za Rowninga, slabe jače nego s kvadratom povećanja udaljenosti, dok se za Worstera mijenjaju obrnuto razmjerno s kubom udaljenosti ($1/r^3$), a na malim udaljenostima prestaju. Worster je odbijanje električnih tijela objašnjavao uvođenjem materijalnog etera čiju materijalnost Rowning nije mogao prihvatiti. Smatrao je da su nematerijalne sile privlačenja i odbijanja dovoljne za tumačenje prirodnih pojava. On je smatrao da je svaka čestica okružena koncentričnim sferama privlačne i odbojne sile (*atrakcije i repulzije*) koje se nalaze jedna u drugoj, pri čemu repulzivna sfera zabranjuje dodir među česticama. Ako je njegova pretpostavka ispravna, zaključio je, čestice svih tijela međusobno se naizmjenično privlače i odbijaju na različitim udaljenostima.³¹ I Boškovićeva teorija pretpostavlja koncentrične sfere privlačenja i odbijanja. Oko 1730. Rowning je došao do pojma graničnih točaka.³²

Jonathan Edwards je razvijao teološke argumente o tome da se bit materije sastoji u sili (snazi, moći) otpora.³³ Ideja da je materija određena silama i da sile čine bit materije bila je prisutna kod Roberta Greena (*The Principles of the Philosophy of the Expansive and Contractive Forces*, 1727.) i mnogo kasnije kod Josepha Priestleya (*Disquisitions Relating Matter and Spirit*, 1777.), Jamesa Huttona (*Dissertations on Different Subject in Natural Philosophy*, 1792.) i Thomasa Exleya (*Principles of Natural Philosophy*, 1829.).³⁴ Green je, uz Berkeleyya, prvi britanski filozof koji je pokušao pobiti osnovne principe nove Newtonove filozofije iako je u načelu prihvaćao teoriju gravitacije. Odbacivao je Newtonovu ideju praznine kao nepotrebnu i nedokazivu osjetilima. Slično je kasnije dokazivao Kant, tj. da prazni prostor ne može biti predmet osjetilnog iskustva. Također je smatrao, za razliku od Newtona, da tvar nije homogena nego heterogena i da su za njezino objašnjenje potrebne dvije vrste sila: kontraktivne i ekspanzivne (*contractive and expansive forces*) što je isto kao i odbojne i privlačne. One mogu postojati u svakom tijelu i u svakom stupnju. Odakle te sile potječu i kako djeluju, nije izričito jasan. Nekada kaže da djeluju iz središta i prema središtima, a nekada po čitavom prostoru.³⁵ Sila je, dakle, bitno svojstvo tvari.³⁶ Po tome je Green sličan Boškoviću.

³¹ Usp. R. E. SCHOFIELD, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in An Age of Reason*, 37-39.

³² A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 145.

³³ Usp. P. M. HEIMANN, J. E. MCGUIRE, »Newtonian Forces and Lockean Powers: Concepts of Matter in Eighteenth-Century Thought«, *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971), 251-254.

³⁴ Usp. P. M. HEIMANN, »Faraday's Theories of Matter and Electricity«, *The British Journal for the History of Science* 5 (1970—71), 247.

³⁵ Usp. A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 132.

³⁶ Usp. P. M. HEIMANN, J. E. MCGUIRE, »Newtonian Forces and Lockean Powers: Concepts of Matter in Eighteenth-Century Thought«, *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971), 254-261. i A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 126-134.

Njtonizam se izvan Velike Britanije počeo najprije širiti u Nizozemskoj zahvaljujući profesorima na sveučilištu u Leydenu Hermannu Boerhaaveu i Willemu Jacobu s'Gravesandeu te profesoru na Sveučilištu u Utrechtu Peteru van Musschenbroeku.³⁷ W. J. s'Gravesande je Newtonovu teoriju privlačnih sila primijenio na objašnjenje kohezije,³⁸ a najpotpunije istraživanje o kapilarnosti izveo je u prvim desetljećima 18. st. P. van Musschenbroek. Koheziju je objašnjavao uvođenjem unutrašnjih sila (*vires internae*) jer za koheziju nisu dovoljne samo vanjske sile. Te unutarnje sile nazivao je i silama unutrašnjeg pritiska da bi ih razlikovao od vanjskog pritiska ili impulsa.³⁹

U Francuskoj je njtonizam nešto bio zakasnio, ali je već nakon 1730-ih bio prisutan prije svega zahvaljujući Pierreu Louisu Moreauu de Maupertuisu, a na razini popularizacije Françoisu Marie Areoutu de Voltaireu te Gabrielle-Émilie du Châtelet, koja je na francuski prevela Newtonovo djelo *Principia*.⁴⁰ Nešto kasnije su njtonizam zastupali Alexis Claude Clairaut, Jean le Rond d'Alembert, Louis Lagrange, Georges-Louis Leclerc Buffon, Pierre Simon Laplace (La Place) i dr. U Italiji je širenju njtonizma ponajviše pridonio Ruder Bošković. Ni Hrvatska nije bila posve zatvorena novoj prirodnoj filozofiji.⁴¹

Boškovićevo otkriće privlačno-odbojne sile

Kada Bošković na početku svoje *Teorije prirodne filozofije* ističe da se njegova teorija »... nalazi na sredini između Leibnizova i Newtonova sustava...«⁴² onda ne želi reći da je ona kompilacija ili spoj dviju tada važnih prirodnih filozofija nego upravo suprotno, da se od njih bitno razlikuje (iako ima zajedničkih elemenata s njima) te da je to sustav koji »... je od jednog i drugog mnogo jednostavniji i zaista izvanredno prikladan da se pomnijim dokazivanjem izvedu sva opća pravila kao i neka poglavita i osobita svojstva tjelesa.«⁴³ Dok Bošković od Leibniza usvaja prve elemente tvari koji su jednostavni i neprotežni (monade), od Newtona usvaja uzajamne sile koje djeluju među tijelima i česticama tijela.

Newton je općepoznat po svojoj teoriji privlačnih gravitacijskih sila ili po zakonu opće ili univerzalne gravitacije među svim materijalnim tijelima. Gravitacijska sila među tijelima ovisi upravo razmjerno masama tih tijela i obrnuto raz-

³⁷ Usp. A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 101-113. i P. M. HEIMANN, »Nature is a Perpetual Worker: Newton's Aether and Eighteenth-Century Natural Philosophy«, *Ambix* 20 (1973) 11-14.

³⁸ Usp. E. C. MILLINGTON, »Studies in Capilarity and Cohesion in the Eighteenth Century«, *Annals of Science* 5 (1941—47) 4, 355-356.

³⁹ Isto, 357-358.

⁴⁰ Usp. A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 84-101.

⁴¹ Usp. S. KUTLEŠA, »Počeci newtonizma u Europi i u Hrvatskoj«, *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine* 29 (2003), 67-70.

⁴² Josip Ruder BOŠKOVIĆ, *Teorija prirodne filozofije*, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1974, br. 1.

⁴³ Isto.



R. J. Bošković

mjerno kvadratu njihove međusobne udaljenosti. Kao što je već spomenuto kod Newtona se javljaju i druge vrste sila kao što su kohezija i fermentacija s koja je tri načela Newton pokušao objasniti sve pojave u prirodi. No i prije njega postojale su teorije, ali i eksperimentalna istraživanja o koheziji (npr. kod F. Bacona, Jacoba i Johanna Bernoullija, C. A. Borellija, R. Boylea, R. Descartesa, H. Fabrija, G. Galileja, W. Gilberta, Th. Hobbesa, R. Hookea, Ch. Huygensa, G. W. Leibniza, J. Lockea, N. Malbranchea, Rohaulta i dr.),⁴⁴ a naravno i u njegovo vrijeme i nakon njega.⁴⁵ Ali je bio svjestan da neke prirodne pojave izmiču tim trijma principima ili silama. Zato je u posljednjem pitanju svog djela *Optika* jasno uveo i odbojne sile, tj. one sile zbog kojih se tijela i čestice međusobno udaljuju. Boškovićevo tumačenje Newtonova uvođenja odbojnih sila jest da: »To biva tako da tamo gdje privlačna sila prestaje, nakon što je došlo do promjene udaljenosti, započinje odbojna sila, i obratno.«⁴⁶

⁴⁴ Usp. E. C. MILLINGTON, »Theories of Cohesion in the Seventeenth Century«, *Annals of Science* 5 (1941—47) 3, 253-266.

⁴⁵ Usp. E. C. MILLINGTON, »Studies in Capilarity and Cohesion in the Eighteenth Century«, *Annals of Science* 5 (1941—47) 4, 352-369.

⁴⁶ J. R. BOŠKOVIĆ, *Teorija prirodne filozofije*, br. 1.

Bošković dopunjava Newtona, koji svojim trima silama (gravitacija, kohezija i fermentacija) ne može objasniti sve pojave, tako što sve pojave u prirodi nastoji objasniti jednim jedinom silom ili jednim jedinim zakonom sila koje postoje u prirodi (*lex unica virium in natura existentium*).⁴⁷ Još se od Newtona razlikuje po tome što je na, vrlo malim udaljenostima, Boškovićeva sila odbojna, a ne može biti privlačna kao kod Newtona, makar morala postati beskonačno velika. Odatle slijedi *differentia specifica* Boškovićeve teorije spram Newtonove i svake druge dotada poznate teorije, naime da se ukida svaki neposredan dodir među česticama te da se mora postulirati jednostavne i neprotežne, točkaste elemente tvari. Newton je u skladu sa svom dotadašnjom tradicijom smatrao da postoji neposredan dodir te da se kohezija objašnjava tim dodiranjem čestica. Osnovni su elementi tvari, za Newtona, sastavljeni od različitih dijelova raznih oblika, a povezanost čestica može biti takva da je nikakva prirodna sila ne može oslabiti ili razoriti. Privlačna sila može, dakle, biti beskonačno velika. U tome je bit Newtonovih nedjeljivih atoma shvaćenih kao sićušne grudice tvari. Kod Boškovića je upravo suprotno: privlačna sila može biti beskonačno mala, a odbojna beskonačno velika. U slučaju vrlo velikih udaljenosti događa se prvo, a u slučaju vrlo malih drugo. Za Boškovića atomi nisu grudice tvari, ma kako sitne mogle biti.

Najvažniji element Boškovićeve teorije prirodne filozofije jest zakon privlačno-odbojnih sila prikazan općepoznatom krivuljom poznatom po njegovu imenu *curva Boscovichiana*. Ona predstavlja radikalno poopćenje Newtonove krivulje koja prikazuje Newtonov zakon opće gravitacije. Bošković, kako je naprijed spomenuto, nije nipošto prvi koji je uveo pojam odbojne sile u prirodnu filozofiju i znanost nego ga je naslijedio od svojih prethodnika, prije svega Newtona, koji je izričito spomenuo odbojne sile kada je govorio o elastičnosti zraka, djelovanju tijela na svjetlost ili o kemijskim reakcijama soli.⁴⁸ S njime počinju teorije o kemijskom odbijanju.⁴⁹ On također govori o odbojnim česticama u fluidu.⁵⁰ Prvi koji je istaknuo važnost odbojne sile kod Newtona bio je Stephen Hales, koji je također uočio da su privlačne i odbojne sile važne za održavanje ravnoteže u prirodi.⁵¹ Teorije odbojnih (repulzivnih) sila razvili su, uz prije spomenute Cotesa, Smitha, Helshama, Worstera, Rowninga, Greena i dr., Gowin Knigh i John Michell.

⁴⁷ Usp. isto, br. 4.

⁴⁸ Usp. R. E. SCHOFIELD, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in An Age of Reason*, 29.

⁴⁹ Usp. A. M. DUNCAN, 'William Keir's 'De Attractione Chémica' (1778) and the Concept of Chemical Saturation, Attraction and Repulsion', *Annals of Science* 22 (1967) 1, 156.

⁵⁰ Usp. E. C. MILLINGTON, 'Studies in Capilarity and Cohesion in the Eighteenth Century', *Annals of Science* 5 (1941—47) 4, 361.

⁵¹ Usp. R. E. SCHOFIELD, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in An Age of Reason*, 75.

Kada se govori o prvenstvu razrađene teorije odbojne sile pokatkad se ističe da su J. Michell i G. Knight prije Boškovića postavili takvu teoriju. Poznati kemičar Joseph Priestley, koji je s Boškovićem imao oštru znanstvenu prepisku o materijalizmu,⁵² navodi da je John Michell iznio teoriju (on kaže, ingenioznu hipotezu) atrakcije i repulzije u ranom razdoblju svog života nemajući nikakve komunikacije s Boškovićem i čak ne znajući za njega. On je također, tvrdi Priestley, iznio ideju o nematerijalnosti tvari. Te je tvrdnje Priestley objavio tek 1772., tj. mnogo godina nakon navodnog Michellova spominjanja hipoteze privlačno-odbojne sile. Sve do Boškovića nije bilo sustavne razrade teorije privlačno-odbojnih sila.⁵³ Njemu pripada prvenstvo u formuliranju teorije privlačno-odbojnih sila.⁵⁴

Neki previđaju činjenice kada tvrde da je Bošković (1758.) kombinirao ideje R. Greena iz 1727. i G. Knighta iz 1748. i tako došao do teorije sila deset godina poslije G. Knighta. »Bošković je razvio ideju prisutnu u djelu Gowina Knighta da na beskonačno malim udaljenostima krivulja sile teži beskonačnom odbijanju.«⁵⁵ Ta je tvrdnja posve netočna ako se uzme u obzir da je Boškovićeva teorija privlačno-odbojnih sila postavljena ne u njegovu glavnom djelu *Teorija prirodne filozofije* (1758.) nego trinaest godina prije toga, u raspravi *De viribus vivis (O živim silama)* iz 1745., a u kasnijim je raspravama *De lumine (O svjetlosti, 1748.)*, *De continuitatis lege (O zakonu neprekinutosti, 1754.)*, *De lege virium in natura existentium (O zakonu sila koje postoje u prirodi, 1755.)*, *De materiae divisibilitate et principiis corporum (O djeljivosti tvari i načelima tijela, 1757.)* tu teoriju doradivao i objavio u konačnom obliku u *Teoriji prirodne filozofije* (1758.). Bošković nije, prema tome, samo najveći sistematičar teorije sila od svih koji su se tim pitanjem bavili jer je njegova »teorija bila važna zbog njezina naglaska na privlačne i odbojne sile i na značenje unutarnje strukture tvari.«⁵⁶

G. Knight je u djelu iz 1748. *An Attempt To demonstrate, That all the Phaenomena in Nature May be explained by Two Simple Active Principles, Attraction and Repulsion (Pokušaj da se dokaže da se sve pojave u prirodi mogu objasniti s pomoću dva jednostavna načela, privlačenja i odbijanja)* govorio o odbojnim silama kao da ih nitko nikada prije njega nije ni spomenuo. Djela britanskih autora, koji su u prvim desetljećima 18. st. raspravljali o silama, sigurno su mu morala biti poznata, ali ih on ne spominje. Teško se može utvrditi jesu li mu bila

⁵² Usp. A. THACKRAY, 'Matter in a Nut-Shell': Newton's *Optics* and Eighteenth-Century Chemistry', *Ambix* 16 (1969), 50-52.

⁵³ Usp. A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 132.

⁵⁴ Usp. R. E. SCHOFIELD, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in An Age of Reason*, 238.

⁵⁵ A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 152.

⁵⁶ Isto, 155, 160.

poznata Boškovićeve djela, posebno rasprava o živim silama iz 1745. *De viribus vivis*. Knight kaže: »Kada promatramo mnogobrojnu (beskrajnu, bezgraničnu, golemu) raznolikost učinaka objašnjivih iz samog privlačenja, izgledat će više nego vjerojatno da bi nekoliko drugih načela objašnjenih naširoko i jasno, moglo otvoriti vrata najskrivenijim tajnama prirode. Bavljenje tom mišlju dovelo me da ispitam nije li odbijanje načelo te vrste; i ne bi li ono i privlačenje bili dovoljni da prikažu sve pojave koje poznajemo.«⁵⁷

Knightovo je djelo važno jer je on pokušao sistematizirati, ali i modificirati i razviti Newtonovu teoriju tvari.⁵⁸ Knight ističe Newtona kao najzaslužnijega za napredak u fizici. Privlačenje i odbijanje slijede iz načela jednostavnosti prirode, a ona se očituje u djelovanju obrnuto razmjerno udaljenosti ($1/r$) što kod Knighta znači odstupanje od Newtonova zakona gravitacije ($1/r^2$). Knight, dakle, dopušta mogućnost da se sila privlačenja mijenja s udaljenošću obrnuto razmjerno toj udaljenosti, obrnuto razmjerno kvadratu te udaljenosti ili obrnuto razmjerno nekoj višoj potenciji ($1/r^n$).⁵⁹ Za gravitaciju drži da je samo vrsta privlačenja i da postoji još jedna vrsta privlačenja, a to je kohezija. Pri dodiru privlačna je sila među česticama beskonačna. »U prirodi mora postojati neki drugi aktivni princip osim privlačenja.«⁶⁰ Taj je princip odbojna sila, koja je također ovisna o udaljenosti i ovisi obrnuto razmjerno o kvadratu udaljenosti ili o višoj potenciji. Učinci odbijanja posve su suprotni učincima privlačenja. Sami za sebe principi privlačenja i odbijanja ne bi mogli objasniti prirodne pojave. Ako bi, naime, postojalo samo privlačenje tvar bi se skupila u kuglasta tijela, a zbog samog odbijanja tvar bi se raspršila po prostoru.⁶¹ Zato se kao principi pojavljuju i privlačna i odbojna sila kao dvije vrste aktivnih principa s pomoću kojih se objašnjavaju sve prirodne pojave. Nema, prema Knightu, potrebe za drugim neposrednim uzrocima.⁶² Kako su privlačenje i odbijanje suprotnosti, one ne mogu istodobno pripadati istoj tvari jer isto tijelo ne može istodobno imati sklonost gibati se na

⁵⁷ G. KNIGHT, *An Attempt To demonstrate, That all the Phaenomena in Nature May be explained by Two Simple Active Principles, Attraction and Repulsion*, London, 1748., 2, usp. i str. 11.

⁵⁸ A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 142. O G. Knightu vidi i: A. M. DUNCAN, »William Keir's 'De Attractione Chemicæ' (1778) and the Concept of Chemical Saturation, Attraction and Repulsion«, *Annals of Science* 22 (1967) 1, 168., A. M. DUNCAN, »Boscovich's Solution to the Problem of the Chemists: the Newtonian Tradition versus the Autonomy of Chemistry«, u: P. BURSILL-HALL (ed.): *R. J. Boscovich: Vita e attività scientifica / His Life and Scientific Work*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma, 1993, 314.

⁵⁹ Usp. G. KNIGHT, *An Attempt To demonstrate, That all the Phaenomena in Nature May be explained by Two Simple Active Principles, Attraction and Repulsion*, 6.

⁶⁰ Isto, 6; usp. P. M. HEIMANN, »Nature is a Perpetual Worker: Newton's Aether and Eighteenth-Century Natural Philosophy«, *Ambix* 20 (1973) 14-15; P. M. HEIMANN, J. E. MCGUIRE, »Newtonian Forces and Lockean Powers: Concepts of Matter in Eighteenth-Century Thought«, *Historical Studies in the Physical Sciences* 3 (1971), 296-299.

⁶¹ Usp. G. KNIGHT, *An Attempt To demonstrate, That all the Phaenomena in Nature May be explained by Two Simple Active Principles, Attraction and Repulsion*, 10, 14.

⁶² Isto, 11.

dva načina. Zato, za Knighta, postoje u prirodi dvije vrste tvari: privlačna tvar (*attracting matter*) i odbojna tvar (*repelling matter*). Prema općeprihvaćenom načelu jednostavnosti prirode, prvotne su čestice kuglastog oblika i jednake veličine, a mogu biti koliko god malene. O tome nam govori iskustvo, a razumsko zaključivanje nas navodi na zaključak da mogu biti djeljive u beskonačnost. »Tako nema stupnja malenosti koji im se razumski ne bi mogao pripisati.«⁶³ Po svojoj složenosti čestice su različitih redova, ali su sve kuglaste. Ima ih tri vrste: odbijajuće čestice, privlačne čestice i neutralne čestice.⁶⁴ »Privlačne se čestice približavaju jedna drugoj povećavajući silu dok ne dođu tako blizu da odbojna sila na njihovoj površini počinje djelovati protivno sili privlačenja nakon čega privlačenje postaje sve slabije i slabije što se one bliže primiču jedna drugoj i sve se više i više poništava suprotnom silom odbijanja; na određenoj udaljenosti odbijanje na njihovoj površini postaje tako jako da uravnotežuje i poništava privlačnu silu: jer jednake i suprotne sile poništavaju jedna drugu. U toj su točki stoga privlačne čestice u mirovanju i u fizičkom su dodiru jedna s drugom.«⁶⁵ Govori se o graničnim točkama (*limit points*) ravnoteže koje je o. 1730. spominjao Rowning, a »Knight je poduzeo sljedeći korak. A desetljeće kasnije, Boškovićeve snažniji um dotjerao je stvar do logičkog zaključka.«⁶⁶ Posve se pogrešno govori o tome da je Knight prije Boškovića govorio o graničnim točkama ravnoteže. Tu se, naime, opet previđa Boškovićeve rasprava iz 1745. godine.

Dok Knight izričito govori o dvjema vrstama tvari, Boškoviću su sve osnovne čestice tvari jednake međusobno. U spomenutoj raspravi *De viribus vivis (O živim silama)* Bošković kaže da »ostaje da iznesem svoj stav... iako vidim da će ga upravo svi oni koji taj problem nisu dublje promislili primiti s podsmijehom. Nakon što sam vrlo dugo razmišljao, ipak ništa manje ne dvojim da ovdje trebam iznijeti svoj stav. No ipak sam krajnje spreman da ga ostavim i da slijedim općeprihvaćeni stav ako mi se dakako iznese išta protiv njega.«⁶⁷ On se ukratko sastoji u tome da se ne prihvaća promjena gibanja impulsom nego silama koje djeluju na udaljenost.⁶⁸ Bošković izričito uvodi ideju da se tijela (čestice) ne dodiruju, a za to je potrebna beskonačna odbojna sila.⁶⁹ Da bi pojasnio pojam dodira kako ga on shvaća, Bošković uvodi razlikovanje fizičkog i matematičkog dodira.

⁶³ Isto, 12.

⁶⁴ Usp. isto, 18-30.

⁶⁵ Isto, 36.

⁶⁶ A. THACKRAY, *Atoms and Powers: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry*, 145.

⁶⁷ R. J. BOŠKOVIĆ, *O živim silama*, u: ur. Franjo Zenko, *Starija hrvatska filozofija*, Školska knjiga, Zagreb, 1997., 427-482., br. 40.

⁶⁸ Isto, br. 41; Usp. R. J. BOSCOVICH, *De materiae divisibilitate et principiis corporum*, Romae, 1757, br. 90; R. I. BOSCOVICH / R. J. BOŠKOVIĆ, *De continuitatis lege/O zakonu neprekinutosti*, Školska knjiga, Zagreb, 1996., br. 163 (str. 162-165.); J. R. BOŠKOVIĆ, *Teorija prirodne filozofije*, br. 101-102.

⁶⁹ R. J. BOŠKOVIĆ, *O živim silama*, br. 41-44, 47-48, 50.

Fizički »ćemo zvati onaj dodir — a njemu se, budući da ga zamjećujemo samo osjetilima, nametnuo naziv 'dodir' ljudskom konvencijom — u kojemu dva tijela dolaze do udaljenosti koja se ne može zamijetiti nikakvim ljudskim osjetilom, a na toj je udaljenosti odbojna sila tako velika da je nikakva ljudska sila ne bi mogla svladati. Matematičkim i neposrednim dodirom nazivljem onaj u kojemu je razmak u sebi jednak nuli.«⁷⁰

U istoj je raspravi Bošković istaknuo prikladnost ideje o odbojnim silama kojima se može objasniti veliki broj prirodnih pojava. Također je naglasio razliku između Newtonova i svog razumijevanja sila. »Newton je otkrio uzajamnu gravitaciju u svim tijelima... Ja priznajem odbijanja na vrlo malim udaljenostima, koja smanjivanjem udaljenosti rastu u beskonačnost.«⁷¹ Konstruirao je svoju prvu krivulju privlačno-odbojnih sila, koja predstavlja i Newtonovu gravitacijsku privlačnost ali i Boškovićevu odbojnu silu. Bošković je istaknuo: »Ova će krivulja očito udovoljiti i Newtonovoj gravitaciji i mojoj odbojnoj sili.«⁷² Dio krivulje koji se odnosi na privlačnu silu ne odgovara Newtonovoj gravitaciji posve nego samo djelomično. Drugi dio, koji također predstavlja privlačnu silu, ne mijenja se s kvadratom udaljenosti nego nekako drukčije. Tu se već kod Boškovića primjećuje odstupanje od Newtonova zakona. Odstupanje je još izražajnije kada se promatra drugi odbojni krak te Boškovićeve prvotne krivulje, koji krak kod Newtona ne postoji. To znači da prelaskom iz privlačne u odbojnu silu (ili obratno) krivulja na jednom mjestu siječe os x koja predstavlja udaljenost čestica. Takvih položaja ravnoteže gdje sila nije ni privlačna ni odbojna nema kod Newtona. Bošković je svoju prvotnu krivulju poopćio tako što je dopustio mogućnost da krivulja više puta presijeca os x , tj. da postoji više ravnotežnih položaja. To mu je poopćenje bilo potrebno da bi mogao objasniti složenije pojave.⁷³ Ono što je za Boškovićeve sile karakteristično jest da ne postoje dvije vrste sila: privlačne i odbojne nego se radi o jednoj jedinoj privlačno-odbojnoj sili koja se, ovisno o međusobnim razmacima među česticama, manifestira jednom kao privlačna, drugi put kao odbojna, a postoje slučajevi kada sila nije ni privlačna ni odbojna. Bošković kaže: »Sve se vrste sila s pomoću ovih krivulja svode na jednu jedinu vrstu sile i na uvijek konstantan način njezina djelovanja.«⁷⁴ Još je jedna bitna razlika između Boškovića i svih drugih u tome što se tvrdilo da čestice koje se dodiruju djeluju međusobno beskonačnom privlačnom silom. Bošković izričito navodi da u teorijama sila drugih autora »... privlačenje može prilikom približavanja porasti u beskonačnost, što se u slučaju mojih krivulja nikada ne događa.«⁷⁵

⁷⁰ Isto, br. 42.

⁷¹ Isto, br. 50.

⁷² Isto.

⁷³ Usp. isto, br. 56.

⁷⁴ Isto, br. 67.

⁷⁵ Isto.

Bošković je tako već u raspravi *De viribus vivis* (1745.) u osnovi utemeljio svoju teoriju koja se u detaljima razvijala kroz druge Boškovićeve, već ovdje spomenute, rasprave i u njegovu glavnom djelu *Teorija prirodne filozofije* poprimila je konačni oblik i pojašnjenje sa svim posljedicama koje proizlaze iz Boškovićeve teorije privlačno-odbojnih sila. Zahvaljujući snažnom utjecaju Boškovićeva glavnog djela već u njegovo doba i kasnije kao da se zaboravilo da njegove prijašnje rasprave uopće postoje. Razlog je djelomično i to što je Bošković sve do čega je došao u tim raspravama inkorporirao u svoje glavno djelo. Tako se stekao pogrešan dojam da su se glavne ideje Boškovićeve teorije prirodne filozofije i strukture tvari pojavile tek u njegovoj *Teoriji prirodne filozofije* iz 1758. godine.

Tom su dojmu podlegli i neki od Boškovićevih suvremenika, npr. engleski znanstvenik Joseph Priestley koji je, govoreći o J. Michellu, istaknuo da je za nauk o privlačenju i odbijanju čuo od Michella. »Ova domišljata hipoteza, barem jedna koja je ista i u svakom slučaju bitna, nalazi se kod mog prijatelja gospodina Michella u vrlo ranom razdoblju njegova života, a da nije imao nikakve veze s gospodinom Boškovićem niti je znao da takva osoba postoji. Oba ta filozofa su naletjeli na isti slučaj da potvrde i pokažu svoje hipoteze, posebno one koje se odnose na dodir, svjetlost i boje. Ovaj sustav *nematerijalnosti materije*, kako bi se mogao nazvati, ili radije *uzajamna prodornost materije*, prvo je pala na pamet gospodinu Michellu dok je čitao Baxtera kada je govorio o nematerijalnosti duše. On je smatrao da ova autorova ideja materije, koja se sastoji, kao što jest, od opeka povezanih skupa nematerijalnom žbukom. Ove opeke, ako bi to bilo u skladu s njegovim vlastitim razmišljanjem, opet su sastavljene od manjih opeka povezanih isto tako nematerijalnom žbukom i tako *ad infinitum*.«⁷⁶ Hardin navodi da je »ovaj 'nauk o privlačnostima i odbojnostima' zapravo boškovićevski sustav.«⁷⁷ Slično misli i Russell McCormach, koji ističe: »Prema Priestleyu Michellova teorija bila je u biti ista kao Boškovićeva.«⁷⁸ Priestley je poistovjećivao Boškovićeve ideje o odbojnoj sili s Michellovim.⁷⁹

Iz svog zakona privlačno-odbojnih sila prikazanog njegovom krivuljom Bošković je 1745. izričito izveo svojstva osnovnih čestica tvari. One su posve istovrsne i zapravo su »točke koje nemaju dijelove pa zato nemaju ni neprekinutu protežnost niti je sastavljaju.«⁸⁰ Od njih se mogu izgraditi složenije strukture (Bošković ih naziva česticama viših redova). Svi ti elementi čine osnovu Boškovićeve teorije iznesene prije 1758. godine.

⁷⁶ C. L. HARDIN, »The Scientific Work of the Reverend John Michell«, *Annals of Science* 22 (1966) 1, 44-45.

⁷⁷ Isto, 44.

⁷⁸ R. McCORMMACH, »John Michell and Henry Cavendish: Weighing the Stars«, *The British Journal for the History of Science* 4 (1968—69), 131.

⁷⁹ Usp. P. M. HEIMANN, »Faraday's Theories of Matter and Electricity«, *The British Journal for the History of Science* 5 (1970—71), 245.

⁸⁰ R. J. BOŠKOVIĆ, *O živim silama*, br. 61.

Sasvim se ispravno smije ustvrditi da Bošković doista nije uveo sam pojam odbojne sile u prirodnu filozofiju, ali da je prvi koji je odbojnu silu povezoao s privlačnom u jedan princip, tj. izveo je jedan jedini zakon privlačno-odbojnih sila tako da se bez ikakve dvojbe može Boškovića smatrati utemeljiteljem jedinstvene i razrađene teorije privlačno-odbojnih sila. Iz nje su izvedena svojstva tvari tako da se kod Boškovića ne može ni govoriti o tvari bez sila. Sila je postala primarno polazište u njegovoj teoriji. Da je tvar nezamisliva bez sila tvrdili su i drugi, ali tek poslije Boškovića, npr. Cadwallader Colden u djelima *Explication of the First Causes of Action in Matter* (1749.) i *Principles of Action in Matter* (1751.).

Treba ovdje istaknuti da je Bošković do svoje teorije došao bez ikakvih eksperimentalnih poticaja jer ih u njegovo doba jednostavno nije moglo biti. Eksperimentalno istraživanje mikrosvijeta uslijedilo je znatno kasnije. Boškovićeve teorije izvedene iz apriornih i metafizičkih principa, kako on kaže, ispravnim umovanjem (zaključivanjem). Zanimljivo je da se jedna takva teorija tek kasnije (20. i 21. stoljeće) pokazala znanstveno relevantnom što može otvoriti jedno, za znanost važno pitanje, naime pitanje odnosa znanosti i metafizike,⁸¹ tj. mogu li metafizička polazišta biti od koristi znanosti i može li znanost samo na osnovi svog iskustveno-eksperimentalnog polazišta dati objašnjenje čitave zbilje. Bošković je upravo aktualan danas zato što se u osnovama suvremenoj znanosti nalaze neke važne ideje koje je on inaugurirao.

Boškovićeve krivulja privlačno-odbojnih sila opisuje upravo takve sile koje se pojavljuju među mikroskopskim česticama u suvremenoj znanosti (Boškovićeve tvarne točke ili puncta u današnjoj fizici odgovaraju elementarnim česticama). Odbojni asimptotski luk Boškovićeve krivulje izvorno je njegovo otkriće.⁸² S pomoću njega tumači se nemogućnost dodira osnovnih tvarnih točaka te neproničnost ili neprobojnost čestica tvari. Bošković je pretpostavio mogućnost postojanja više asimptotskih lukova što bi značilo da bi krivulje sile između asimptota predstavljale međusobno izolirane svjetove. Takav se slučaj u suvremenoj znanosti naziva tzv. sužanjstvom čestica (sužanjstvom kvarkova), a to znači da svaka čestica predstavlja zaseban svijet koji s drugim svijetom ni na koji način nije povezan. Stoga P. M. Rinard izričito kaže: »Čini se malo vjerojatnim da bi Bošković bio iznenađen kvarkovskim modelom koji subnuklearne čestice gradi od 'mnoštva mnogo manjih objekata' tako da nukleoni postaju molekule izgrađene od kvarkova.«⁸³ Po pitanju asimptotskog privlačnog ili gravitacijskog luka na krivulji sila Bošković radikalno odstupa od Newtonova zakona privlačne sile. Privlačni luk može na vrlo velikim udaljenostima, za razliku od Newtonova

⁸¹ Usp. M. M. LETICA, *Odnos metafizike i znanosti: Boškovićevo metafizičko prirodoslovlje*, Filozofsko-teološki institut Družbe Isusove u Zagrebu, Zagreb, 2011.

⁸² Usp. R. J. BOŠKOVIĆ, *O živim silama*, br. 41, 47-56; J. R. BOŠKOVIĆ, *Teorija prirodne filozofije*, br. 74-80.

⁸³ P. M. RINARD, »Quarqs and Boscovich«, *American Journal of Physics* 44 (1976) 7, 704.

gravitacijskog luka, ne biti asimptotski, nego može os apscise x sjeći više puta.⁸⁴ Tu je pretpostavku Bošković uveo zato da bi mogao objasniti zašto se zvijezde stajalice ne uruše u sebe, što bi se moralo dogoditi kad bi postojala samo privlačna sila među njima. Slične ideje postojale su u kasnijim kozmološkim teorijama (npr. Einsteinov model stacionarnog svemira).

Newtonov zakon gravitacije nije mogao objasniti mnoge druge prirodne fenomene. Taj je nedostatak Newtonove krivulje Bošković ispravio uvođenjem srednjih privlačnih i odbojnih lukova s pomoću koji se objašnjavaju ostali poznati prirodni fenomeni. Korekcija Newtonova zakona gravitacije ne dovodi u pitanje Boškovićeve teorije nego je naprotiv osnažuje time što ona obuhvaća više fenomena nego zakon gravitacije. Boškovićevoj su krivulji sila u današnjoj znanosti mikrosvijeta vrlo slične krivulje koje prikazuju kako se mijenjaju sile, potencijali, energije i druge fizikalne veličine ovisno o razmaku među česticama kao što su kvarkovi, nukleoni (protoni, neutroni), atomi, molekule.

Boškovićeve jedan jedini zakon sila (*lex unica virium*) bez dvojbe je jedan od najradikalnijih pokušaja ujedinjenja svih poznatih sila u prirodi. Boškovićeve ideal, koji je on u svoje vrijeme ostvario u znanosti, u današnjoj znanosti još uvijek nije ostvaren, a to je »jednostavnost i ljepota Boškovićeve teorije koja objašnjava mnoštvo prirodnih pojava jednom jedinstvenom silom i postavlja dugoročnu strategiju istraživanja strukture materije.«⁸⁵ Iz njega je proizašlo i Boškovićevo odbacivanje atoma kao grudica tvari što, kao i Kopernikova tvrdnja da Zemlja ne miruje, proturječi svakom osjetilnom iskustvu te je Boškovićeve teorije sila »najveći trijumf nad osjetilima koji je dosad za Zemlji postignut.«⁸⁶ Nakon Boškovića, kaže F. Nietzsche, »ne postoji više tvar... jednostavno... ne postoji ništa drugo nego sila.«⁸⁷ Stoga je jedna od najvećih njegovih zasluga za prirodnu filozofiju i znanost u tome što je prekinuo »... s materijalističko-korpuskularnom teorijom materije i postavio prvu pravu dinamičko-atomističku teoriju« stvorivši tako nov pojam zbiljnosti i razbijajući »osnove cijele dotadanje slike svijeta, u kojoj se objektivni svijet svagda predstavljao kao kontinuirano povezana protežna tvar, koja je slika bila primjerena osjetilnom dojmju čovjeka.«⁸⁸ Stoga »... glasovitom 'kopernikanskom obratu' valjalo bi svakako dodati i 'bošković(ij)anski obrat'...«⁸⁹ Iz tog su obrata slijedili i drugi obrati kao posljedica primjene zakona privlačno-odbojnih sila. Jedan od njih je Boškovićeve »model atoma« koji u prirodu uvodi ideju »dopuštenih« i »zabranjenih« staza što je kasnije (1913.), ne znajući za Boš-

⁸⁴ J. R. BOŠKOVIĆ, *Teorija prirodne filozofije*, br. 121-126, 399-405.

⁸⁵ I. ŠLAUS, »Sile u modernoj fizici i u Boškovićevoj Teoriji«, u: ur. V. POZAIĆ, *Filozofija znanosti Rudera Boškovića*, Filozofsko-teološki institut Družbe Isusove u Zagrebu, Zagreb, 1987., 97.

⁸⁶ Friedrich NIETZSCHE, *Werke I-V*, Verlag Ullstein GmbH, Frankfurt a/M., Berlin, Wien, 1969, II 577.

⁸⁷ *Isto*, III, 1178.

⁸⁸ Vladimir FILIPOVIĆ, »Ruder Bošković i njegovo značenje za suvremenu nauku i filozofiju prirode«, *Tesla* 8 (1961), 30.

⁸⁹ *Isto*, 31.

kovića uveo Niels Bohr postavivši tako svoj model atoma primijenivši Planckovu ideju kvantizacije. Stoga je H. V. Gill ustvrdio »... da je Bohrov atom izravni nasljednik Boškovićeve zakona sila između čestica razmaknutih mikroskopskim udaljenostima... Kada se bude pisala povijest atomske teorije, pravo je da se uloga koju je igrao otac Ruđer Bošković ne bi smjela previdjeti.«⁹⁰

Postoji još priličan broj Boškovićeve izvornih ideja koje su proizišle iz njegove krivulje privlačno-odbojnih sila o čemu ovdje nije potrebno opširnije govoriti. Sve to pokazuje da je Boškovićevo prevladavanje prijašnjeg dualizma sila u prirodi urodilo plodovima kojih je u svoje doba i sam Bošković bio posve svjestan, a za pravo mu je dala današnja suvremena prirodna znanost mikrosvijeta.

Stipe Kutleša

Dualism or Monism of Forces in Nature? Bošković's Law of Attractive-repulsive Forces

An explanation of natural phenomena means knowing their causes. Since antiquity there have been philosophical debates about causes, the most famous of which is Aristotle's theory of four causes. In modern science one of Aristotle's causes — the active cause (*causa efficiens*) has been placed in the forefront, which has prevailed and modified the concept of force in modern philosophy of nature and science and has become one of the most important concepts of natural science. This concept remained unclear for a long time and was somewhat anthropomorphic and difficult to eliminate from science. Its formalisation and mathematical expression by I. Newton began a new scientific paradigm — the so-called classical mechanics that dominated science until the late 19th century. Newton «axiomatised» classical mechanics by setting laws of forces acting in nature. His law of gravity became a universal law that applies to both celestial and terrestrial phenomena. Although Newton mentioned repulsive force, he said little about it. Only his followers asked about the theory of repulsive force, but all these discussions were secondary to the law of gravity. Ruđer Bošković, although a Newton follower, was the first to radically supplement Newton's law of gravity by adding that there is a repulsive force between particles of matter at small distances. In this way, he created his concept of attractive-repulsive forces that does not represent two forces (as in the previous tradition) but rather is a single attractive-repulsive force which Bošković used to explain all phenomena in nature. This is the first case in science that all phenomena are explained by a single law. The paper discusses how Bošković overcame the dualism of force that was important for the establishment of some new concepts in modern science, which directly draw their roots from the Bošković's theory of natural philosophy that was not any empirical theory but rather metaphysical one.

⁹⁰ H. V. GILL, *Roger Boscovich, S. J. (1711—1787): Forerunner of Modern Physical Theories*, Dublin, 1941, 30.

PRILOG
PRILOZI