

РУЂЕР БОШКОВИЋ И ПОЧЕЦИ „ТЕОРИЈЕ СВЕГА”

МИЛАН М. ЋИРКОВИЋ и ЕДИ БОН

Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11160 Београд-74, Југославија

E-mail: mcirkovic@aob.aob.bg.ac.yu

Резиме. Разматра се пионирски покушај Руђера Бошковића да на принципима њутновске механике изгради прву „теорију свега”, тј. универзалну динамику материјалних поља. Ово је нарочито занимљиво због огромних напора који се већ више од пола века улажу у контексту савремене физике и космологије, да се изгради таква фундаментална теорија и да се одговори на питање „због чега је космос уређен онако како јесте?” Историја науке указује на три могуће класе одговора на то питање. Бошковићева идеја најближа је оном концепту који већина данашњих теоретичара који се баве овим питањем сматра једином исправном дефиницијом „теорије свега”. Иако тек епизода у укупном спектру Бошковићеве научне делатности, овај његов покушај је свакако од великог историјског значаја за епистемологију и филозофију науке, који није остао ни сасвим незапажен у међународној литератури.

1. Увод: „теорије свега”

Последње деценије су у теоријској физици обележене великим напором уложеним у покушаје стварања нечега што се различито назива „обједињена теорија поља”, „фундаментална теорија” или, најсликовитије, „теорија свега”. (У даљем тексту користићемо ову последњу одредницу, са скраћеницом ТС.) Постоји више могућих прилаза изградњи овакве универзалне теорије, о којој су сањали Мексвел, Едингтон, Шредингер и Ајнштајн; најбољи популарни приказ може се пронаћи у славној књизи Стивена Вајнберга „Снови о коначној теорији” (Weinberg 1993). Прилазом „главног тока” могао би се назвати онај који се наставља на електрослабу унификацију у Вајнберг-Салам-Глешоу теорији и унификацију у тзв. GUT (енгл. *Grand Unified Theories*) теоријама које обједињују три од четири фундаменталне интеракције. Ово би се могло сматрати изградњом ТС „одоздо навише”. Међутим, проблеми који су се појавили са свим досадашњим покушајима изградње квантне теорије гравитационог поља (видети нпр. Smolin 2001) су у тој мери велики, да су мотивисали многе физичаре да се окрену сасвим новим и неортодоксним приступима изградњи ТС (међу њима је можда најинтересантнија идеја „коначног ансамбла” једног од највећих космолога данашњице, Макса Тегмарка cf. Tegmark 1998; ово се може сматрати одличним примером конструкције ТС „одозго надоле”). Не треба, наравно,

ни наглашавати огроман значај ових обједињавања за космологију са како историјског (сама посматрачка космологија била би вероватно немогућа без Мексвелове унификације електрицитета и магнетизма!) аспекта, тако и са гледишта данашњег истраживачког тренутка. Управо су врата отшкринута електрослабом унификацијом (и каснијим покушајима изградње GUT-теорија) у последње две деценије XX века омогућила стварање инфлаторних космологија и решавање дубоких проблема класичне космологије, као што су проблем хоризонта и проблем равне геометрије. Нема разлога сумњати да ће се ова плодна интердисциплинарна истраживачка активност наставити пуним замахом и у столећу које је управо отпочело.

Ово се може резимирати на следећи начин. Однос математичких и физичких објеката се може класификовати на следећи начин:

1. Физички свет је потпуно математички:
 - 1.а. Све што постоји математички, постоји и физички.
 - 1.б. Неке ствари које постоје математички постоје и физички, друге не.
 - 1.ц. Ништа што постоји математички не постоји физички.
2. Физички свет није потпуно математички.

Апсурдна категорија 1.ц. је укључена само ради епистемолошке потпуности, пошто је већ са Њутном (ако не и раније) била оповргнута. Све религиозне и већина метафизичких слика света спадају у категорију 2. Веровања већине физичара и астронома би (бар у радном времену!) припадала категорији 1.б. Алтернативно, мањина (којој припада и Тегмарк), заступа „платонску” (или, још адекватније, питагорејску) концепцију 1.а. Разлика између категорија 1.а. и 1.б. се може изразити кроз одговор на питање: да ли ће будућа ТС садржати „улазне” (физичке) параметре који ће бити несводиви на математичке константе? Потврдан одговор на ово питање даје теорије типа 1.б. Одричан одговор - схватање да ће, у коначној анализи, сви физички параметри које опсервирамо бити одабрани (вероватно некаквим антропичким селекционим ефектом) из општих математичких расподела које не захтевају никакве емпиријске параметре - води нас до теорија типа 1.а., у извесном смислу најрадикалнијих могућих ТС. На ово питање броја параметра која било која задовољавајућа ТС треба да има, још ћемо се вратити. На пример, данашњи „Стандардни модел” (дакле електрослаба теорија + квантна хромодинамика и кварк-модел са $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ симетријом) има чак 19 слободних параметара¹ (видети нпр. Collins, Martin and Squires 1989). Ретко који теоретичар не верује да ће се овај број смањити у било којој будућој ТС; са друге стране, мало ко такође верује да

¹ Ово су: три константе везивања (по једна за електромагнетну, слабу и нуклеарну силу), два Хигсова параметра, 9 фермионских маса (6 кваркова и 3 масивна - класично схваћена - лептона), 3 угла мешања међу интеракцијама („mixing angles”), један фазни угао у Кобајаши-Маскавиној матрици и квантно-хромодинамички параметар θ . Ово се може повећати са утврђивањем масе и интеракција три врсте неутрина - из чега се извлачи јасан закључак о конфузији и проблемима „стандардног модела”.

ће се он смањити на нула, што би захтевале теорије типа 1.a.²

У контексту оваквих покушаја, пионирско место у изградњи ТС типа 1.б. припада Руђеру Бошковићу и његовој концептуалној схеми приказаној у монументалном делу „Теорија природне филозофије“, објављеном оригинално 1758. у Бечу, а поновно издатог 1763. године у Венецији (Слика 1). Бошковић је био вероватно први човек на свету у више од две хиљаде година након Демокрита и других античких атомиста, који је у овом делу озбиљно приступио изградњи јединствене физичке динамике која би важила како у микро- тако и у макросвету, дакле подједнако у домену људског свакодневног искуства, као и у доменима који човеку нису непосредно емпиријски доступни.

У овом раду покушаћемо да покажемо како је, са становишта историје идеја, Бошковићева потрага за „универзалним законом силе“ заправо први покушај да се изгради функционална и емпиријски проверљива ТС. Много важније од самог резултата Бошковићевих покушаја (који су нужно ограничени крајње скромном емпиријском базом података која му је средином XVIII века стајала на располагању), јесу његови концептуални и епистемолошки ставови имплицитни у једном таквом пионирском подухвату. Интересантно је да је овај допринос Бошковићев у значајној мери признат у међународној јавности (cf. Barrow 1990), но у домаћој литератури је углавном био пренебрегнут у корист његових других „чистије научних“ резултата.³ Детаљно промишљање ове кључне епистемолошке теме у Бошковићевом делу свакако лежи ван домета овог рада; наша је скромна нада да ћемо допринети мотивисању даљег рада на овом интердисциплинарном пољу, интересантном не само за историју науке, већ и за космологију, теоријску физику и филозофију науке.

2. Руђер Бошковић и ТС desiderata

Која је основна идеја Бошковићеве „универзалне теорије“? Већ у првој реченици самог предговора бечком издању, он пише (према Boscovich 1922):

Драги читаоче, пред тобом се налази Теорија Природне Филозофије, изведена из јединственог закона Сила.

² Стога би у теорију типа 1.a могла спадати, нпр. данас заборављена „фундаментална теорија“ сер Артура Едингтона, у којој је чак и број електрона у универзуму био математички израчунљив! Наравно, она није била сувише озбиљно схватана чак ни у време Едингтоновог највећег утицаја на физику и астрономију (за историјске детаље видети Barrow and Tipler 1986; Kragh 1996).

³ Часни изузетак у овом смислу је наш најзначајнији филозоф Бранислав Петронијевић, који је, међутим, у свом есеју о Бошковићу (Петронијевић у Boscovich 1922) наглашава најспекулативније метафизичке елементе његовог система; уз то, Петронијевић историјски никако није био у могућности да довољно оцени значај саме идеје обједињења сила, који је нама данас готово очигледан. Видети, такође, прилог Александра Томића у овом зборнику.

**T H E O R I A
P H I L O S O P H I Æ N A T U R A L I S**

REDACTA AD UNICAM LEGEM VIRIUM
IN NATURA EXISTENTIUM,

A U C T O R E

P. ROGERIO JOSEPHO BOSCOVICH

**SOCIETATIS JESU,
NUNC AB IPSO PERPOLITA, ET AUCTA,**

**Ac a plurimis præcedentium editionum
mendis expurgata.**

EDITIO VENETA PRIMA

IPSO AUCTORE PRÆSENTE, ET CORRIGENTE.



V E N E T I I S,

M D C C L X I I I.



EX TYPOGRAPHIA REMONDINIANA.

SUPERIORUM PERMISSU, ac PRIVILEGIO.

Слика 1. Насловна страна Бошковићеве „Теорије природне филозофије”, венецијанско издање из 1763. Књига се оригинално појавила у Бечу пет година раније.

Овај мотив се затим развија практично од почетка до краја „Теорије”. Идеја јединственог **универзалног** закона силе била је сасвим нова и на спектакуларан начин је представљена у овом Бошковићевом ремек-делу. Нарочиту пажњу Бошковић обраћа на опасност од конфузије његових идеја са Њутновим.⁴ Тако, у одељку 4, Бошковић пише:

Моја се теорија разликује колико год је могуће од Њутнове. Као прво, она објашњава преко јединственог закона силе све оне ствари које је сам Њутн, у последњем од својих 'Питања о оптици', покушао да објасни преко три принципа гравитације, кохезије и ферментације; не само то, већ и многе друге ствари, које не следе сасвим из ова три принципа. Даље, овај закон је изражен јединственом алгебарском формулом, а није састављен од више формула узетих заједно; или јединственом непрекидном геометријском кривом. Даље, он дозвољава силе које на веома малим растојањима нису позитивне или привлачне, како је Њутн претпостављао, већ су негативне или одбојне; мада ове постају све веће и веће неограничено, како се раздаљине неограничено смањују.

Геометријски приказ универзалног закона силе видимо на Слици 2 (крива BDEFGHIKLMNOPQRSTV). Очигледно је да алгебарска структура - у савремени терминима - оваквог закона мора бити сложена полиномна функција, у општем случају дата са:

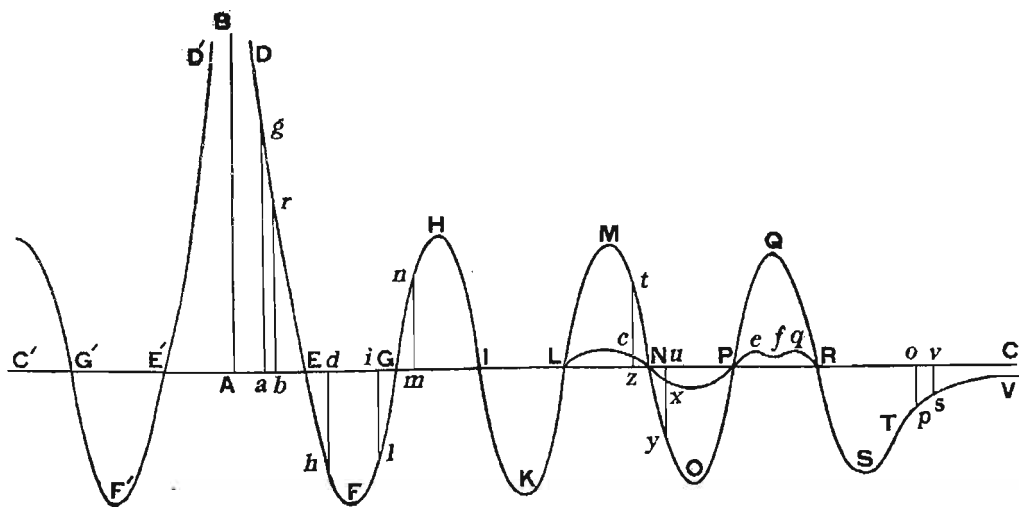
$$F(r) = a_n r^n + a_{n-1} r^{n-1} + \dots + a_1 r + a_0 + a_{-1} r^{-1} + a_{-2} r^{-2} + \dots + a_{-n} r^{-n} \quad (1)$$

Очигледно је да је Њутнов закон универзалне гравитације специјалан случај ове формуле у којој је $a_i (i \neq -2) = 0$, $a_{-2} = -GMm$ (уколико стандардно дефинишемо привлачну силу негативним предзнаком). Познато је да Кулонова (електростатичка) сила, на пример, следи закон истог функционалног облика (обрнутих квадрата). Други - нама данас познати, али не и у Бошковићево време - закони силе садрже различите степене зависности, попут плимних сила које делују на нетачкасто тело у гравитационом пољу ($F_{pl} \propto r^{-3}$), или чак силе која проистиче из постојања енергије вакуума, познате и као космолошка константа Λ , која је **директно** сразмерна удаљености ($F_\Lambda \propto r$).⁵ Са друге стране, захтев да у лимиту

⁴ Ово није у потпуности схваћено до данас. Јасно је да је Бошковић дубоко ценио генијални Њутнов допринос практично свим постојећим природним наукама, а посебно физици, али се ни у ком случају не може за њега тврдити да је био превасходно „промотер” њутновских идеја, како се понекад површно претпоставља (нпр. Penrose 1989).

⁵ Ово потоње је заправо било извор доброг дела ране историје физичке космологије. Као што је познато, Ајнштајн је 1917. године предложио свој статички универзум управо са циљем да балансира ове две силе (привлачну гравитациону и одбојну која проистиче из космолошке константе) да би добио статички универзум (Einstein 1917). Међутим, Едингтон је убрзо

великих удаљености поставља јако снажно ограничење на природу коефицијената у (1): пре свега они са позитивним експонентима морају бити нуле, а такође и a_0 и a_{-1} (јер би гранични процес $r \rightarrow +\infty$ довео до нежељене доминације ових чланова. Даље, Бошковић је био итекако свестан могућности да прави „универзални закон“ може бити изразив тек као бесконачни ред, тј. да $a_{-n} \neq 0$ за свако $n \in [0, \infty)$. Са друге стране, у том случају коефицијенти a_{-n} морају бити још боље одређени да би ред $\sum_{n=2}^{+\infty} a_{-n} r^{-n}$ конвергирао за свако реално $r > 0$. У даљем току расправе у „Теорији“, аутор сугерише да би бесконачни ред био утолико боља апроксимација стварном понашању честица, и то нарочито на малим удаљеностима, што бисмо више чланова низа узели у разматрање.



Слика 2. Крива онога што је Бошковић називао законом силе између тачкастих маса. Област веома малих удаљености је свесно увећана да би се манифестовало сложено понашање „универзалног закона“ који би у овој области требало да објасни постојање чврстих тела везаних силама другачијим од гравитације.

Не улазећи даље у математичка својства Бошковићевог сугерисаног универзалног закона силе, истакнимо неке од његових мотивација. Основна показао да је тај статички универзум нестабилан, управо због тога што су функционалне зависности ових сила од растојања толико различите. Ово је припремило терен за Фридмана и Леметра и њихово теоријско предвиђање универзалне експанзије. (За детаље ове узбудљиве научне драме видети Kragh 1996).

мотивација је била генијално запажање - тек на прави начин поново схваћено у модерној физици последњих пола века - да Њутнов закон опште гравитације не дефинише никакву карактеристичну скалу растојања у универзуму. Стога, и због очигледне чињенице да исти закон (са истом константом интеракције) који држи на окупу планете Сунчевог система не може истовремено држати на окупу и мала тела каква запажамо у свакодневном животу, Бошковић интуитивно осећа како је неопходан сложенији закон који би се приближавао Њутновом тек у лимиту великих (међупланетарних) растојања, а имао компликованије понашање на малим скалама, дефинишући карактеристичне скале за величине малих тела, посебно чврстих тела. (Таква једна скала било би, на пример, растојање EG на слици 2.) Те скале би биле на једнозначан начин повезане са параметрима универзалне теорије (савременим речником, оне би дефинисале коефицијенте a_n у горњем развоју). Исто се односи и на случајеве када је гравитација балансирана неком другом силом (рецимо код објеката попут планета и сателита, чија је величина одређена равнотежом између гравитационе и међумолекуларних сила.)

Застанемо да још једном оценимо дубину овог интуитивног закључка на фону изузетно малог емпиријског знања XVIII века. У Бошковићево време постојала је само једна позната фундаментална константа, Њутнова гравитациона константа G , а чак ни њена тачна нумеричка вредност није била позната, све до Кевендишових експеримената крајем XVIII века (већ се за потребе небеске механике изражавала искључиво као производ са масом Сунца). Могло се претпоставити (и ту је лежала генијалност Бошковићеве интуиције) да постоје аналогне константе које управљају понашањем честица на малим растојањима, рецимо унутар чврстих тела. (Данас знамо да су то пре свега Планкова константа и тзв. константа fine структуре, која одређује интензитет електромагнетних сила које ефективно држе на окупу макроскопска чврста тела.) Историјска је чињеница да је проблем егзистенције чврстих тела ваљано разрешен тек са појавом квантне механике, а њихова детаљна својства и данас представљају предмет интензивног изучавања у оквирима физике кондензованог стања. Међутим, само постојање тог проблема било је несхваћено до Бошковића; он је био први који је „поставио право питање“.

Зашто јединствени алгебарски (или геометријски) закон силе, мада њени различити сектори дејствују различито на различитим растојањима и манифестују се емпиријски веома различито? Овде се може повући паралела са другим историјским „обједињењима“ у историји физике. Џејмс Клерк Мексвел је, као што је познато, демонстрирао унутрашње јединство електричних и магнетних појава кроз јединствене динамичке једначине (тј. Мексвелове једначине), упркос емпиријској различитости ових појава, тако да њихово стварно динамичко јединство није ни најмање угрожено тиме што и данас говоримо о „електричним силама“ и „магнетним силама“ (посебно у практичном, инжењерском контексту). Уз то, треба поменути да се у пуном коваријантном 4-димензионалном запису и Мексвелове једначине заправо

пишу као један закон, тј. један математички израз

$$\square^2 A_\mu = j_\mu / \epsilon_0 \quad (2)$$

где је A_μ 4-векторски потенцијал електромагнетног поља, j_μ 4-вектор струје, а \square^2 је Д'Аламберов оператор (cf. Feynman, Leighton and Sands 1964, поглавље 25).

(Оно што је занимљиво у овом контексту - будући такође тековина XVIII века - јесте размишљање о вези математичког облика закона силе и броја просторних димензија, до кога је први дошао Имануел Кант. У кратким цртама, проблем стабилности затворених (Кеплерових, за гравитацију) орбита у различитим потенцијалима који настају интеграцијом закона силе (1) изгледа тесно повезан са бројем просторних димензија (према Handyside 1929). Након Кантових раних спекулација, овај проблем је први у озбиљном физичком маниру третирао Пол Еренфест (Ehrenfest 1917), а затим и енглески космолог Џералд Витроу (Whitrow 1955). Данас се објашњење по коме орбите у генерализованом гравитационом потенцијалу нису стабилне за број просторних димензија $D > 3$ (док се за $D = 2$ или $D = 1$ јављају други проблеми, посебно у вези са комплексношћу), сматра једним од најзначајнијих антропичких објашњења. Запазимо да подробније анализе за сложеније потенцијале попут (1) са много ненултих коефицијената нису генерално вршене.)

3. ТС и природа објашњења у физичким наукама

Шта је објашњење у физици, астрономији или биологији? Уобичајено схватање у савременој епистемологији и филозофији науке се може изразити на следећи начин (Price 2002):

Прво претпоставимо да су основна експланаторна питања облика 'Под условом да важи С, зашто перципирамо Е уместо F?' Овде је идеја да никада не објашњавамо ствари изоловано. Увек узимамо нешто као већ дато, и тражимо да објаснимо циљни феномен у тој светлости. С представља ову позадину, и Е је циљни феномен. (С би могло представљати прихваћене законе, као и 'граничне услове' који се третирају као 'дати' и непроблематични за ову сврху.)

Наравно, треба да се потрудимо да учинимо позадину С максимално уопштеном. Речима истакнутог космолога и филозофа науке сер Хермана Бондија у најистакнутијем светском уџбенику космологије током 1960-тих и 1970-тих година (Bondi 1961, стр. 74):

Веома је дубоко у духу научног истраживања да се поздрави свака нова теорија која проширује опсег применљивости науке

Управо се ово може применити на Бошковићеву идеју „универзалног закона силе“. Она је демонстрирала најснажније управо оно што представља врхунску привлачност саме идеје о ТС: максимално проширење опсега применљивости једне физичке теорије. Његово објашњење макроскопских

чврстих тела као објеката који постоје у равнотежи сила међу честицама („атомима“) на основу закона силе који спречава и сувишно удаљавање и сувишно приближавање ових конституената представља објашњење које у потпуности следи Прајсов модел (који се, са своје стране, ослања на епистемолошка достигнућа Попера, Квајна, Лакатоша и других савремених филозофа науке). Бошковић је дубоком интуицијом препознао захтеве за објашњење тамо где их други нису проналазили.

Постоји још неколико црта ове Бошковићеве теорије фасцинантних са становишта историје идеја. Наведимо их овде укратко.

1. Иако је концепт 'интегралног погледа на свет' рођен и афирмисан још у античкој Грчкој, Бошковић је био први који је то покушавао формулисати у оквирима теорије **математичке** физике (ослањајући се, свакако, на Њутна, али га у том погледу „целовитости“ надмашујући, о чему сведочи горњи цитат).

2. Запазио је да су неопходни предуслови за успешну теорију свега сагласност микро- и макропроцеса. У том смислу је претеча холизма карактеристичног за савремену квантну механику и квантну теорију поља.

3. Бошковић је изузетно снажно наглашавао да његов закон није „случајни“ агрегат парцијалних закона сила, већ изражава „скривено“ јединство саме Природе. Стога је он аутентични претходник ТС типа 1.б, пошто сматра да је физички језик фундаменталнији од математичког.

4. У складу са античком традицијом, а за разлику од преовлађујућег става у његово доба, а посебно у XIX веку, Бошковић је наглашавао геометријску страну математичке физике (његовим речима: „Закон ове врсте може бити веома компликован... али он може бити најједноставније врсте и ни најмање сложен; он се може представити, на пример, јединственом непрекидном кривом.“). Ово истицање геометријског наспрам алгебарског описа је доживело ренесансу у XX веку, нарочито од Ајнштајна наовамо (за јако леп пример видети Penrose 1989).

Како закључује велики савремени космолог Џон Бароу (Barrow 1990, стр. 18):

Постоје многе друге иновације у Бошковићевој детаљној расправи, али нас овде интересује само овај закључак: да је он био први да замисли, тражи и предложи обједињену математичку теорију свих сила Природе. Његов непрекидни закон силе била је прва научна Теорија Свега. Можда је у осамнаестом веку, једино ренесансни ум попут Бошковића, који је успешно објединио интелектуалне и административне активности у свим областима мисли и праксе, могао имати довољно храбрости да претпостави да сама Природа није ништа мање мултикултурна.

4. Закључак

Вероватно најтрајнији и најимпресивнији допринос Руђера Бошковића физичким наукама остао је, бар што се тиче домаће литературе, слабо

запажен и готово уопште филозофски не промишљен. То је утолико уочљивије уколико се савремена аналитичка филозофија и филозофија науке све интензивније баве управо проблемом концептуалног склопа и могућих епистемичких импликација будуће „Теорије свега”. Концепт овакве универзалне теорије микро- и макросвета какав је Бошковић заступао остао је снажно присутан до данашњег дана. Без обзира што се тај концепт може показати нереалистичан (у светлу могућности теорија типа 1.а. у таксономији §1), његово присуство је већ одиграло огромну историјску и сазнајну улогу. Надамо се да ће детаљније изучавање ове проблематике тек уследити.

Референце

- Barrow, J.: 1990, *Theories of Everything* (Clarendon Press, Oxford).
- Barrow, J.D. and Tipler, F.J.: 1986, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford University Press, New York).
- Bondi, H.: 1961, *Cosmology* (2nd edition, Cambridge University Press, London).
- Boscovich, R.J.: 1922, *A Theory of Natural Philosophy* (Latin-English edition, Chicago, Open Court Publishing Co.).
- Collins, P.D.B., Martin, A.D. and Squires, E.J.: 1989, *Particle Physics and Cosmology* (John Wiley, New York).
- Ehrenfest, P.: 1917, *Proc. Amst. Acad.* **20**, 200.
- Einstein, A.: 1917, *Sitz. Preuss. Akad. Wiss.*, p. 112.
- Feynman, R.P., Leighton, R.B. and Sands, M.: 1964, *The Feynman Lectures on Physics* (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts).
- Handyside, J.: 1929, *Kant's Inaugural Dissertation and Early Writings on Science* (University of Chicago Press, Chicago).
- Kragh, H.: 1996, *Cosmology and Controversy* (Princeton University Press, Princeton).
- Penrose, R.: 1989, *The Emperor's New Mind* (Oxford University Press, Oxford; српски превод Поларис, Београд, 2002).
- Price, H.: 2002a, „Boltzmann's Time Bomb,” *Brit. J. Phil. Sci.*, forthcoming.
- Smolin, L.: 2001, *Three Roads to Quantum Gravity* (Basic Books, New York).
- Tegmark, M.: 1998, *Annals of Physics*, **270**, 1.
- Weinberg, S.: 1993, *Dreams of a Final Theory* (Hutchinson, London; српски превод Поларис, Београд, 1997).
- Whitrow, G.J.: 1955, *Brit. J. Phil. Sci.* **6**, 13.

RUDJER BOŠKOVIĆ AND THE BEGINNINGS OF THE
„THEORY OF EVERYTHING“

MILAN M. ĆIRKOVIĆ and EDI BON

Astronomical Observatory, Volgina 7, 11160 Belgrade-74, Yugoslavia

Abstract. The pioneering attempt of Rudjer Bošković to lay down the first „Theory of everything“ on the principles of Newtonian mechanics i.e. the universal dynamics of material fields, is considered.