

ИЗВОРИ БОШКОВИЋЕВЕ ТЕОРИЈЕ - ОД ЗАКОНА ЊУТНА, ХУКА И БОЈЛА ДО БОШКОВИЋЕВЕ КРИВЕ

ДРАГОСЛАВ СТОИЉКОВИЋ

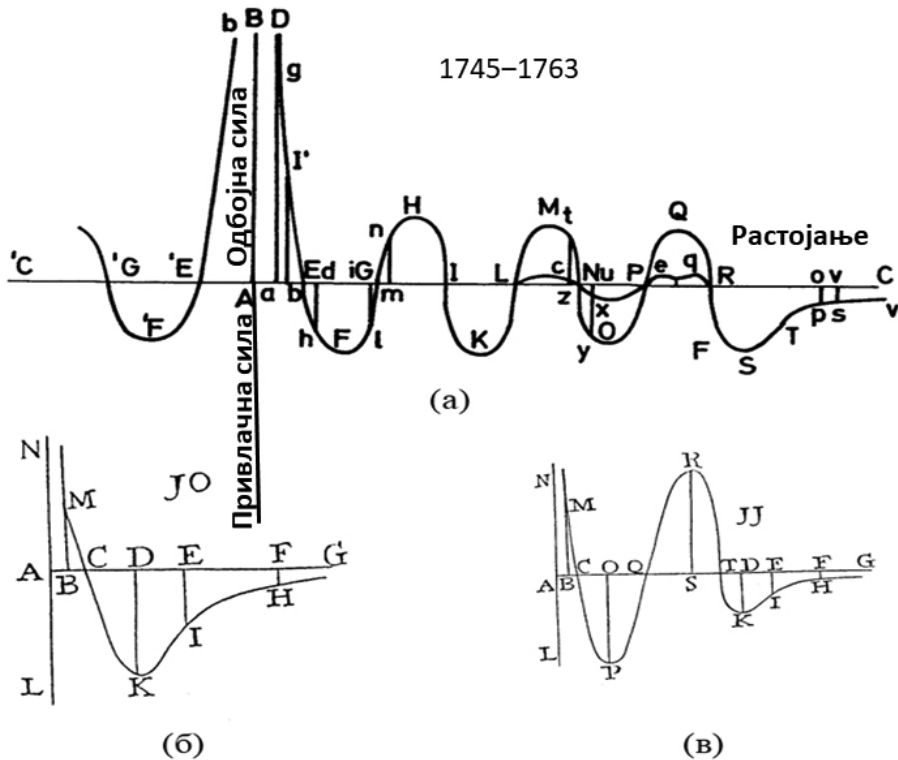
*Инжењерска академија Србије, Београд, Кнеза Милоша 9
Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет,
Нови Сад, Бул. Цара Лазара 1
E-mail: dragos@uns.ac.rs*

Резиме: Бошковић је криву, која описује јединствени закон сила које постоје у природи, конструисао 1745. на основу филозофског разматрања судара два тела и Њутновог закона гравитационог привлачења (1687), Хуковог закона по коме је изобличење тела сразмерно сили која делује на то тело (1675) и Бојл-Мариотовог закона да је производ притиска и запремине неког гаса константан при сталној температури (1662). Док се Њутнови закони односе само на привлачну силу између тела или честица материје, Бошковић разматра и одбојну силу и развија "Теорију природне филозофије сведену на један једини закон сила које постоје у природи". Готово сва остала његова схватања су логична последица тог јединственог закона сила чија разрада доводи до мноштва примена у различитим областима физике, хемије и других природних наука.

Кључне речи: Руђер Бошковић, Међудејство честица, Теорија природне филозофије

УВОД – ЈЕДАН ЈЕДИНИ ЗАКОН СИЛА КОЈЕ ПОСТОЈЕ У ПРИРОДИ

"Теорија природне филозофије сведена на један једини закон сила које постоје у природи" (Boscovich, 1758, 1922, 1966 и 1974) је **Бошковићево животно дело у коме је објединио своја филозофска и природно-научна схватања. Полази од претпоставке Лајбница (Gottfried Wilhelm Leibnitz, 1646–1716) да су основни елементи материје сићушни као тачке, које немају величину и које су недељиве. Не прихвата Лајбницову претпоставку да се тачке додирују, већ сматра да су удаљене неким размаком, који се може бесконачно повећавати или смањивати, али не може потпуно нестати. Од Њутна (Isaac Newton, 1643–1727) прихвата постојање узајамних сила између ових тачака. Док Њутн сматра да при веома малим удаљеностима влада снажна привлачна сила између честица, Бошковић сматра да тада постоји велика одбојна сила, која је утолико већа уколико је растојање мање (Сл. 1).**



Слика 1. Општи (а) и посебни облици (б и в) Бошковићеве криве показују промену привлачне и одбојне силе са променом растојања између елементарних тачака или честица материје (Boscovich, 1758, 1922, 1966 и 1974).

У претходним радовима (Стоиљковић, 2010, 2011) смо дали детаљан приказ Бошковићеве теорије, њен утицај на развој савремене физике, али и емпиријске доказе о њеној исправности и применљивости. Показали смо да резултати савремене науке потврђују исправност Бошковићеве криве (Сл. 1) за међудејство две честице на различитим нивоима хијерархије материје – од елементарних честица, нуклеона, атома, молекула, макромолекула, колоидних и нано-честица.

У овом чланку желимо да на једноставан начин прикажемо која су то научна сазнања и филозофска начела била доступна у 18. веку и која је Бошковић користио кад је градио своју Теорију и конструисао криву на слици 1. Бошковић на почетку свог дела (Део I у Boscovich, 1758, 1922, 1966, 1974) излаже на који је начин дошао до овакве теорије. Такође је Ивица Мартиновић (Martinović, 1987) дао један веома темељни приказ дедукције Бошковићеве Теорије. За потпуније упознавање читаоца упућујемо на та два извора.

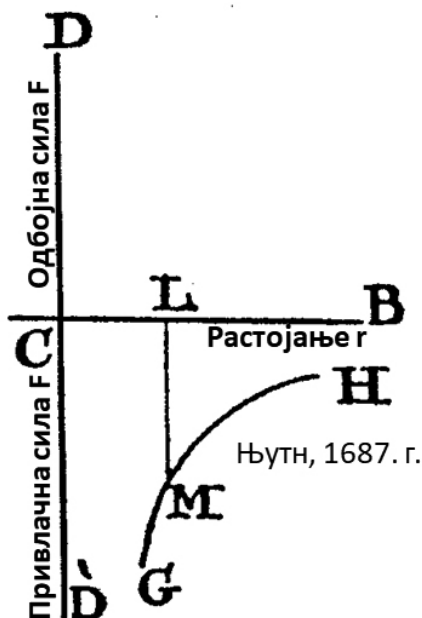
ЊУТНОВИ "МАТЕМАТИЧКИ ПРИНЦИПИ ПРИРОДНЕ ФИЛОЗОФИЈЕ"

Исак Њутн (1643-1727) је био познати енглески, математичар, астроном, алхемичар и филозоф природе који је 1687. објавио студију "Математички прин-

ципи природне филозофије (Njutn, 1726 и 2011), која описује општу гравитацију и три закона, и која је поставила темеље класичне (Њутнове) механике и послужила као пример за настанак и развој других модерних физичких теорија. Према Њутну, између два тела (или две честице) А и В, делује привлачна сила F која је се повећава са смањењем растојања r између њих, према изразу (1), што се може приказати на слици 2.

$$F = \gamma m_a m_b / r^2 \quad (1)$$

$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ је гравитациона константа.



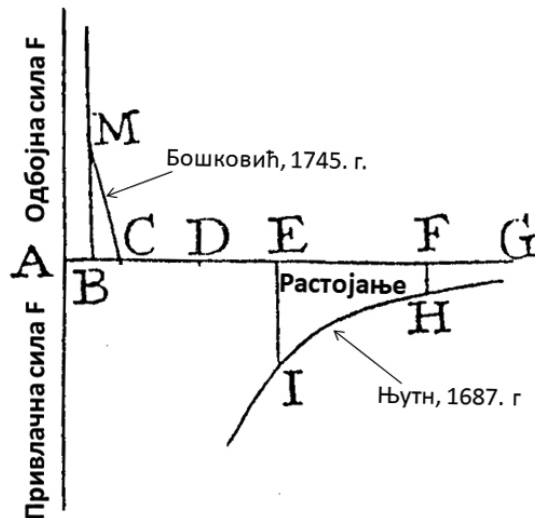
Слика 2. Деловање Њутнове гравитације. Сила између два тела или две честице се повећава при смањењу растојања између њих. Бошковићев приказ привлачног гравитационог лука (Сл. 17 у Boscovich, 1758, 1922, 1966 и 1974).

Сагласно Њутновим закону (Једн. 1 и Сл. 2), привлачна сила F између тела или честица је бескрајно велика када је растојање r између њих блиско нули, тј. када се додирују. Када би то било тачно, та два тела се више не би могла раставити. Међутим, у стварности није тако.

ПОЈАВА ОДБОЈНЕ СИЛЕ

Њутн је своју теорију гравитације изградио искључиво на привлачној сили. Ипак је у 31. питању при крају своје "Отике" натукнуо: "Па као што у алгебри, онде где позитивне величине ишчежавају и престају, негативне почињу, тако у механици, онде где престаје привлачење, требало би уследити одбојно деловање". (Martinović, 1987, стр. 68) И ни реч више није рекао о одбојној сили.

Управо је главна заслуга Бошковића што је неопходност постојања одбојне силе описао на 74 стране у 164 одељка у првом делу у (Boscovich, 1758, 1922, 1966 и 1974) и дао јој исти значај као и привлачној. У 18. одељку разматра два једнака чврста тела (нпр. А и В) која се крећу у истом правцу у истом смеру, и нека оно које претходи (А) има степен брзине 6, а оно што га следи (В) степен брзине 12. Друго тело ће сусетићи оно прво и судариће се. Након судара ће оба тела имати брзину 9, што значи да ће се брзина првог тела повећати, а другог смањити за 3 степена. Привидно је та промена нагла, тј. скоковита у тренутку судара. Ако би било тако – пита се Бошковић – онда би у тренутку судара оба тела имала истовремено две брзине (6 и 9 за тело А, а 12 и 9 за тело В). По Бошковићу је немогуће да неко тело има истовремено две брзине. Поред тога, таквим се схватањем крши закон континуитета по коме се било која промена неке величине, повећавање или смањење, остварује тако да се "с једне величине прелази на другу увек непрекидним кретањем преко свих међувеличина" (Boscovich, 1745). Другим речима, у неком кратком интервалу времена и простора ће тело В смањивати своју брзину од 12 на 11, па на 10 и достићи вредност 9, а истовремено ће тело А повећавати брзину од 6 на 7, па на 8 и достићи вредност 9. А шта је узрок таквим променама брзине? – пита се Бошковић – и наводи да је познато из Њутнове механике да је сила тај узрок промене брзина; а у овом случају то мора бити одбојна сила, али не између тела као целине, већ између делића тих тела када она дођу на веома мало растојање при судару тела (Boscovich, 1758, 1922, 1966 и 1974, бројеви 73-75).



Слика 3. Њутнова привлачна гравитациона сила и Бошковићева одбојна сила између честица на површинама два сударајућа чврста тела. Нацртано на основу (Boscovich, 1745, Fig. 10).

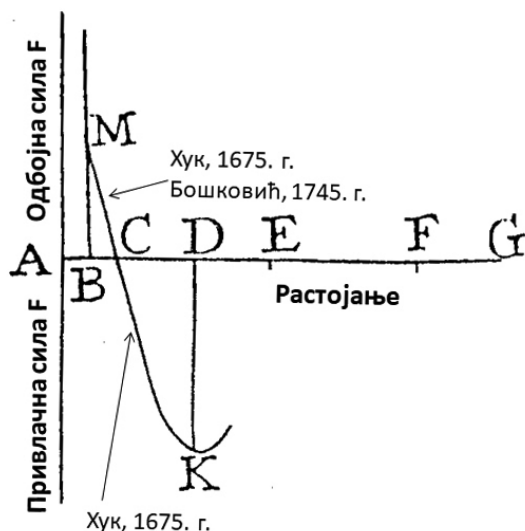
Нека се оба тела састоје од честица које се налазе на равнотежном растојању АС (Сл. 3). Кад је растојање између тела велико (АГ) (Сл. 3), тада при приближавању тела расте привлачна гравитациона сила. Али, када се једно тело при-

ближи другом телу, а честице на њиховим површинама дођу на растојање мање од АС, тада настаје велика одбојна сила која спречава даље приближавање тела. Одбојна сила између честица надјачава привлачну гравитациону силу између тела. Та одбојна сила је утолико већа уколико је мање растојање између честица сударајућих тела (лук СМ).

ХУКОВ ЗАКОН

Роберт Хук (Robert Hooke, 1635-1703) је био енглески физичар и секретар Краљевског друштва у Лондону. Једно његово откриће је закон по коме је деформација тела сразмерна сили која делује на то тело.

Бошковићу је био познат Хуков закон помоћу ког се тумачи растезање и стежање еластичних и меких тела, као и истезање и кидање нити (Martinović, 1987, стр 69 и Boscovich, 1745). Растојање између честица у чврстом телу је мало, нпр. АС (Сл. 4) при ком је привлачна сила изједначена са одбојном, па је укупна сила једнака нули. По Хуковом закону, при стежању (сабијању) се та растојања могу само незнатно смањити чак и применом веома велике силе. То описује линија СМ на Сл. 4. Супротно, при истезању неког тела (нпр. нити), растојања између честица се повећавају, а за то је потребно применити силу да би се савладало привлачење између њих. То описује лук СК на Сл. 4.

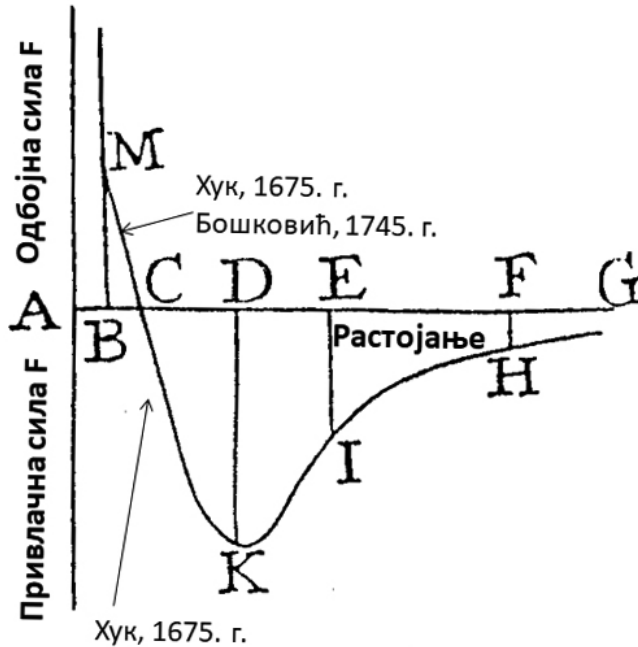


Слика 4. Промена привлачне и одбојне силе између честица на основу Хуковог закона.

ОБЈЕДИЊАВАЊЕ КРИВИХ ИЗ ЊУТНОВОГ И ХУКОВОГ ЗАКОНА

Њутнов закон описује криву промену сила при великим растојањима (EG, Сл. 3), а Хуков закон при малим растојањима између честица (BD, Сл. 4). Бошковић сматра да ако би постојао прекид криве при неким размацима средње

величине (нпр. у опсегу DE), тј. ако ту не би постојала никаква сила, тада би се тиме прекршио закона континуитета. Стога он обједињује ова два закона и црта јединствену криву која описује промену одбојних и привлачних сила са променом растојања између честица чврстог тела (Сл. 5).



Слика 5. Обједињено деловање Њутнове привлачне, Бошковићеве одбојне и Хукове привлачне и одбојне силе између честица чврстог тела (Boscovich, 1745, Fig. 10).

Док Њутнова теорија придвиђа бескрајно велику привлачну силу између честица при бескрајно малом растојању, супротно томе Бошковићева теорија предвиђа бескрајно велику одбојну силу која спречава да честице – ма какве да су – дођу у непосредан (тзв. математички) додир. Између честица може постојати само физички додир, који подразумева да између њих увек постоји неко растојање условљено бескрајно великом одбојном силом. (Истоветан појам физичког додира постоји и код Демокрита који је "додиром називао међусобну близину атома и невелику удаљеност, јер да су свакако њоме растављени") (Herman, 1983, стр. 74).

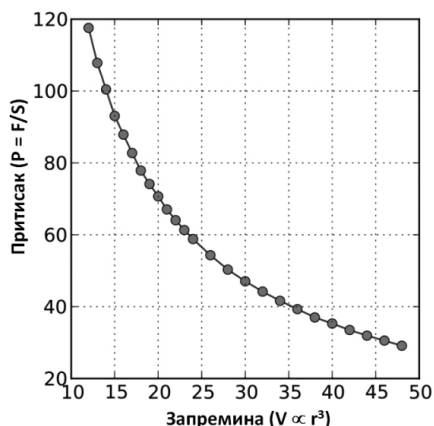
БОЈЛ – МАРИОТОВ ЗАКОН

Горе поменути Робер Хук, некадашњи помоћник ирског физичара и хемичара Роберта Бојла (Robert Boyle, 1627-1691), је направио апарат за извођење опита са ваздухом на основу којих је утврђено да је производ притиска P и запремине V константан на константној температури и непромењеној количини гаса (2). Француски физичар Едм Мариот (Edme Mariotte, 1620-1684) је открио

исти закон 1679, независно од Бојла, али га је Бојл већ објавио 1662. Мариот је, међутим, открио да се запремина ваздуха мења са температуром. Стога се овај закон понекад назива Мариотов закон или Бојл-Мариотов закон.

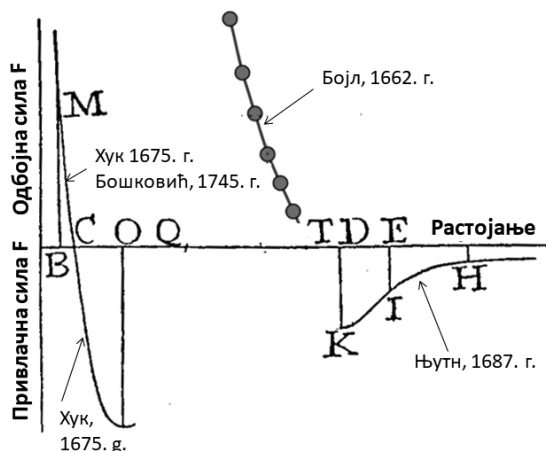
$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \text{ const.} \quad (2)$$

Ово је једначина хиперболе (Сл. 6). На апсциси је запремина (V) одређене количине гаса која је сразмерна ($\propto$) растојању (r) између честица гаса, тј. $V \propto r^3$. На ординати је притисак $P = F/S$, где је F сила гаса која делује на површину S .



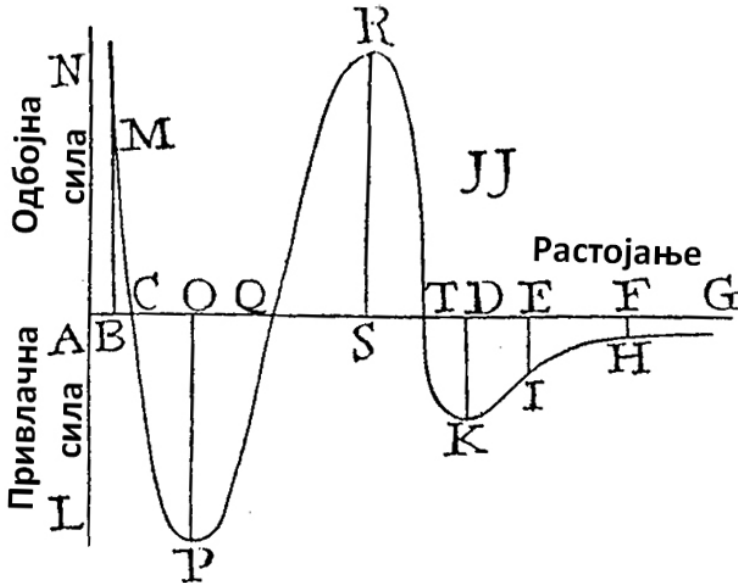
Слика 6. Графикон Бојлових оригиналних података за однос притиска и запремине гасовитог тела.
(Извор: https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Бојл-Мариотов_закон.)

Познато је да гасовито тело увек тежи да заузме цео расположив простор, тј. честице гаса увек теже да се удаље једна од друге. То значи да између честица у гасу постоји одбојна сила и зато су растојања честица у гасу знатно већа него код чврстих и течних тела. Све ово је Бошковићу било познато. Зато сматра да у гасовима при неким средњим растојањима треба да се налази одбојна крива (Сл. 7).



Слика 7. По Бошковићу, при неким средњим растојањима треба да се налази одбојна крива. (Део Бојлове криве смо ми уцртали између Q и T.)

Бошковић се опет позива на закон континуитета и повезује Хукову, Њутнову и Бојлову криву у једну целину (Сл. 8) и помоћу ње тумачи промене агрегатног стања материје, те стезање и растезање меких и еластичних тела, и растезање и кидање нити.



Слика 8. Бошковићева крива за отпор на деловање спољне силе на флуиде, еластична тела, мека тела и нити (Martinović, 1987, стр. 68 и Boscovich, 1745, Fig 11).

Тако је Бошковић од криве која сече апсцису у једној тачки (тачка С на Сл. 5) дошао до криве која је сече у три тачке (С, Q и Т на Сл. 8). Претпоставио је да би могла постојати крива која сече апсцису у колико год тачака (Сл. 1), али за то није дао никакво изричито објашњење. Поред три наведена облика криве (Сл. 1, 5 и 8), Бошковић црта и разматра још неке облике своје криве: Figs. 12, 13, 24, 25 и 26 у (Boscovich, 1758, 1922, 1966 и 1974). Уз то, неке није нацртао, али је описао како треба да изгледају; нпр., приказан је њихов облик за деловање силе на највећим удаљеностима у подручју звезда стајачица (Martinović, 1987, Сл. 6) и за промене агрегатних стања материје (Paušek-Baždar, 1983).

ЗАКЉУЧАК

Наука је у 18. веку располагала потребним знањима (закони Њутна, Хука и Бојла) за конструисање Бошковићеве криве. Његова заслуга је што је он те законе спојио у јединствени закон сила које делују између честица материје и што је генијално запазио постојање одбојне силе на малим и на већим растојањима. Остала његова схватања су логична последица тог јединственог закона сила чија разрада доводи до мноштва примена у различитим областима физике, хемије и других природних наука.

ЛИТЕРАТУРА

- Boscovich, R.: 1745, *De viribus vivis*; видети Martinović, I.: 1987, *Filozofija znanosti Ruđera Boškovića*, Filozofsko-teološki institut Družbe Isusove, Zagreb, 57-88.
- Boscovich, R.: 1758, *Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicum legem virium in natura existentium*, Већ (прво издање); 1763, Venecija, (друго издање); 1922 и 1966, *A Theory of Natural Philosophy*, Open Court, London и The Massachusetts Institute of Technology, M.I.T. Press, Cambridge (редом); 1974, *Teorija prirodne filozofije svedena na jedan jedini zakon sila koje postoje u prirodi*, (dvojezično: latinski i hrvatski), Liber, Zagreb.
- Herman, D.: 1983, *Predsokratovci*, Fragmenti, II svezak, Naprijed, Zagreb, str. 74; превод издања Hermann D.: 1974, *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Herausgegeben von Walther Kranz, Weidmann, Hildesheim.
- Martinović, I.: 1987, *Temeljna dedukcija Boškovićeve filozofije prirode*, u *Filozofija znanosti Ruđera Boškovića*, Filozofsko-teološki institut Družbe Isusove, Zagreb, 57-88.
- Njutn, I.: 2011, *Matematički principi prirodne filozofije*, Akademska knjiga, Novi Sad; превод издања 1726. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, London.
- Paušek-Baždar, S.: 1983, *Kemijski aspekti Boškovićeve teorije*, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Rasprave i građa za povijest znanosti - knjiga 4, Razrada za matematičke, fizičke i tehničke znanosti, Zagreb.
- Стоиљковић, Д.: 2010, "Руђер Бошковић – утемељивач савремене науке", *Петничке свеске* **65**, Истраживачка станица Петница.
- Стоиљковић, Д.: 2011, "Допринос Бошковићеве теорије савременом схватању структуре материје", *Анали огранка САНУ у Новом Саду*, **7**, 90-100; Градац, **38(180-181)**, 115-12.

**SOURCES OF BOSCOVICH'S THEORY –
FROM NEWTON'S, HOOKE'S AND BOYLE'S
LAWS TO BOSCOVICH'S CURVE**

In 1745 Boscovich constructed a curve which describes the single law of forces that exist in nature, based on philosophical considerations of the collision of two bodies and Newton's law of gravitational attraction (1687), Hooke's law according to which the deformation of a body is proportional to the force acting on that body (1675), and Boyle-Mariotte's law that the product of pressure and volume of a gas is constant at a constant temperature (1662). While Newton's laws refer only to the attractive force between bodies or particles of matter, Boscovich also considers the repulsive force and develops the "Theory of Natural Philosophy Reduced to a Single Law of Forces That Exist in Nature". Almost all of his other understandings are the logical consequences of this single law of forces, the elaboration of which leads to a multitude of applications in various fields of physics, chemistry, and other natural sciences. The results of modern science have confirmed the correctness of Boscovich's curve and his theory.

Keywords: Roger Boscovich, Particles interaction, Theory of natural philosophy.