Од теорије Руђера Бошковића (18. в.) до теорије Павла Савића и Радивоја Кашанина (20. в.) је раздобље од два века. Прва теорија се темељи на закону континуитета и полази од начела класичне Њутнове механике, а друга се заснива на квантној механици. Уз то, Бошковић је свој закон сила примењивао углавном на примарне елементе материје (непротежне и недељиве тачке), и на честице првог и другог реда, а Савић и Кашанин се усредсређују на честице „од атома до небеских тела". Стога се чини да су теоријски приступи и предмети ове две теорије потпуно различити. Међутим, није тако. У овом раду дајемо кратке описе живота наведених

(Pexels/Max Vakhtbovych)

БОШКОВИЋ и/или САВИЋ-КАШАНИН

Није изненађујуће да је уродио плодом и наш покушај да у степенике Савића и Кашанина и Бошковићеве лукове уградимо молекулске и надмолекулске честице. Тако смо добили да запремине на почетку и на крају сваке фазе представљају карактеристичне запремине материје. То су универзална стања материје, једнозначно одређена природом саме материје и Бошковићевим законом сила.

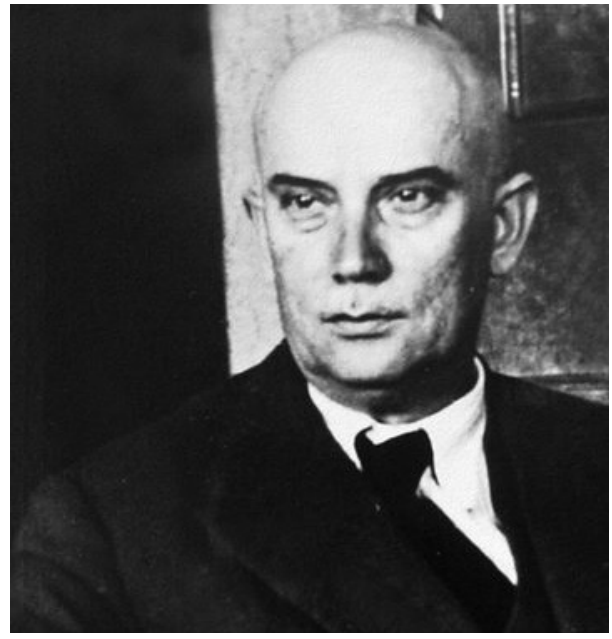
Драгослав Стоиљковић

научника и указујемо на историјску повезаност ове две теорије, као и да теорија Савић-Кашанин заправо произилази из Бошковићеве теорије. Након што смо утврдили да резултати савремене науке потврђују исправност обе теорије, користимо их као путоказе за изналажење неких нових непознатих закономерности у природи.

Радивој Кашанин

Радивој Кашанин је рођен 3. јуна 1892. у Белом Манастиру, тада у Аустроугарској. Умро је 30. октобра 1989. у Београду. Његов млађи брат, Милан Кашанин (21. фебруар 1895, Бели Манастир – 22. новембар 1981, Београд) био је познати српски историчар уметности, ликовни критичар, књижевник, историчар књижевности и културни радник. Њихови су преци с презименом Поповић прешли у 18. в. из Херцеговине у Барању. Потичу из сиромашне сељачке породице.

Овде се укратко приказује живот и делатност само Радивоја, који је у родном месту завршио четири разреда Српске основне школе. Прва три разреда средње школе је завршио у Класичној гимназији у Осијеку, а осталих пет у Српској православној гимназији у Новом Саду. Кад је избио Први светски рат мобилисан је у аустроугарску војску и 1915. упућен на руски фронт. Пребегао је на руску страну и пријавио се као добровољац у српску војску. Учествовао је у борбама у Добруџи, у Бесарабији и на Солунском фронту. Демобилизован је 1919. Одликован је руским орденом „Свете Ане", енглеским „Ратним крстом с мачевима", српским орденом „Белог орла с мачевима" и „Златном медаљом за храброст" и чехословачким и румунским орденима. У униформи је био пет година и за то време није могао да се посвети математици.



Радивој Кашанин (САНУ)

Студије математике је наставио 1920. у Паризу на Сорбони. Дипломирао је у новембру 1921. Докторат „О аналитичким облицима мултиформних функција" одбранио је 20. новембра 1924. на Филозофском факултету у Београду. За асистента на Катедри за математику београдског Техничког факултета постављен је 1922. Доцент је постао 1926, ванредни професор 1930, а редовни професор 1939. на Техничком и Електротехничком факултету. Два пута је биран за ректора на Техничкој великој школи (1950/51. и 1951/52). По својој молби, пензионисан је као редовни професор на Електротехничком факултету 30. априла 1957. За дописног члана САНУ изабран је 2. маја 1946. а за редовног 10. јуна 1955. Био је секретар Одељења за техничке науке (1955-1959) и заменик председника САНУ (1957-1959). Први је и засад једини Барањац који је постао академик. Добио је награду Владе ФНРЈ (1949), одликован је Орденом рада са црвеном заставом. Добитник је Октобарске награде Београда (1963.) те Седмојулске награде Србије (1968), као и других повеља и признања.

Објавио 28 научних и стручних радова из математичке анализе (теорија функција, диференцијалне једначине), механике и астрономије. Спадао је међу ретке учења-

**Од Бошковићеве теорије до теорије Савића и Кашанина, саопштено на научном скупу „Барања кроз векове" (Сомбор, 12-14.10.2018), а део рада је штампан у Зборнику радова. Издавачи: Удружење Матица српска у Дубровнику, Београд; Институт за политичке студије, Београд и „Мирослав", Београд, стр. 131-141.*

ке енциклопедисте; није било области математике и сродних наука коју није добро познавао. Са академиком Павлом Савићем је објавио неколико радова из геофизике, обрадивши теорију понашања материје под врло великим притисцима и веома високим температурама.

Павле Савић

Павле Савић је рођен 10. јануара 1909. у Солуну, који је тада био део Османског царства. Дипломирао је физичку хемију на Природно-математичком факултету Универзитета у Београду 1932. Након дипломирања је изабран на катедри за физику на Медицинском факултету за асистента професора Драгољуба Јовановића чијом заслугом је 1935. упућен на научно усавршавање у чувени Институт за радијум у Паризу, којим је руководила Ирена Жолио Кири, ћерка Марије Кири. Светски углед је стекао 1937. и 1938. када је са Иреном открио изотопе познатих елемената бомбардовањем атома уранијума спорим неутронима. То доводи Ота Хана и Фрица Штрасмана до открића нуклеарне фисије уранијума. Савић је са Иреном Жолио био предложен за Нобелову награду, али је њу добио само Хан.

Павле Савић (САНУ)

У току Другог светског рата био је руководилац за шифру Врховног штаба Народно-ослободилачке војске. Пред крај рата га Тито шаље у Москву као члана војне мисије. До 1947. ради у Институту за физичке проблеме Академије наука СССР у тиму са нобеловцем, академиком Пјотром Леонидовичем Капицом, једним од најзаслужнијих за стварање совјетске атомске бомбе.

Био је оснивач и директор Института за нуклеарне науке у Винчи од 1960. до 1966. Од 1948. је редован члан, а од 1971. до 1981. председник Српске академије наука и уметности. Француска га је два пута одликовала Орденом Легије части. Добио је Златну медаљу Ломоносова и Медаљу Радерфорда. Од домаћих награда добио је Седмојулску награду 1950. и награду АВНОЈ-а 1966. Умро је у Београду 30. маја 1994.

Руђер Бошковић

Руђер Бошковић је рођен 18. маја 1711. у Дубровнику, као осмо од деветоро деце оца Николе и мајке Павле. Отац Никола је српског порекла, рођен је у херцеговачком селу Орахов До. Мајка Павла је италијанског порекла, потиче из породице Бетера из Бергама у северној Италији. Руђер је завршио Дубровачки исусовачки колегиј. Од 1725. студира реторику, логику, филозофију, математику, астрономију и теологију у Римском исусовачком колегију где 1733. постаје предавач граматике, а од 1740. предавач математике. У Риму остаје све до 1759. кад објављује велики број радова, међу којима најзначајније дело „Теорија природне филозофије сведена на један једини закон сила које постоје у природи" /1/. Прво издање теорије је штампано у Бечу 1758, а друго 1763. у Венецији, која је тада била у оквиру Аустрије.

Бошковић је био припадник католичког реда исусоваца (језуита), чија је значајна улога била да брани црквена од јеретичких учења. На листи забрањених је била и Њутнова механика, нарочито део који се односи на кретање планета око Сунца. Мада исусовац, Бошковић је био убеђени

њутновац, па је страховао да не дође под удар инквизиције исусоваца. Стога 1759. полази на дуго студијско путовање по Европи, са жељом да се више никад трајно не врати у Рим. Одлази прво у Париз, где као дописни члан Краљевске академије наука (примљен је још 4. маја 1748.) сусреће многе чувене енциклопедисте и упознаје се са њиховим учењима. У Лондон одлази 1760. где 15. јануара 1761. постаје члан Краљевског друштва (Royal Society), које је заправо енглеска академија наука. Од 1760. до 1763. посећује многе познате научне и јавне установе и личности на подручјима која данас припадају Холандији, Белгији, Немачкој, Аустрији, Турској, Бугарској, Молдавији и Пољској.

По завршетку путовања 1764. прихвата место професора математике у градићу Павија код Милана, који је тада био у оквиру Аустрије. Следеће године оснива астрономску опсерваторију у Милану у кварту Брера, заједно са исусовцима који су ту смештени, а 1770. прелази у Милано на место професора астрономије и оптике. До 1772. је руководилац опсерваторије још у постоји, а име оснивача и биста Руђера Бошковића, налазе се на улазу и холу.

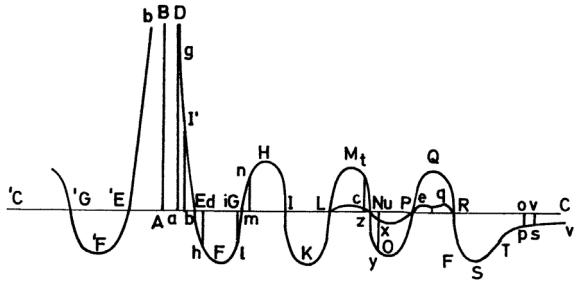
Руђер Бошковић (Влахо Буковац)

Услед неслагања са исусовцима у Брери, Бошковић 1772. напушта Милано. Као старији човек од 61 године остаје без прихода и уштеђевине коју је потрошио за опремање опсерваторије. На несрећу Бошковићеву, 1773. је укинут исусовачки ред тако да ни са те стране није могао очекивати помоћ. Стога 1773. прихвата понуду Министарства за морнарицу Француске да буде управитељ одељења за оптику. Сели се у Париз и узима француско држављанство. Да би припремио за штампу своја дела из оптике, 1782. му је одобрено да борави у Милану где их 1785. завршава. Исцрпљен радом, Бошковић умире 13. фебруара 1787. у Милану.

Бошковић је био славна личност у своје време, члан неколико академија наука (енглеске, француске, руске...), познат као астроном, физичар, математичар, филозоф. Упечатљивост свестраног деловања Бошковића овековечена је и „у срцу" његовог научног деловања, у Милану, где једна улица носи име овог великог научника.

Теорија природне филозофије

„Теорија природне филозофије сведена на један једини закон сила које постоје у природи" /1/ је Бошковићево животно дело у коме је обједињио своја филозофска и природно-научна схватања. Полази од претпоставке Лајбница (Gottfried Wilhelm Leibnitz) 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) прихвата постојање узајамних сила између ових тачака. Док Њутн сматра да на 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 (слика 1).



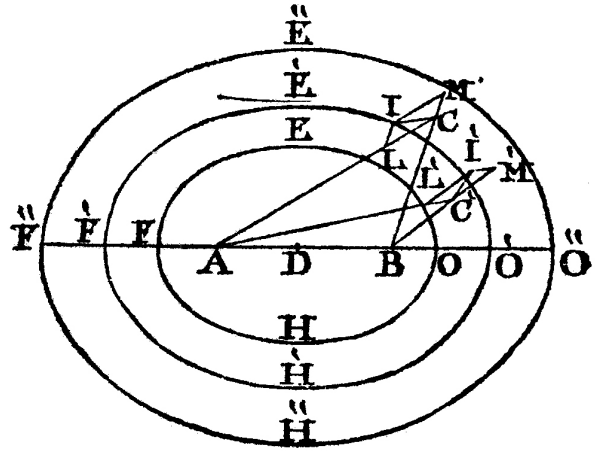
Слика 1 Бошковићева крива показују промену привлачне и одбојне силе (доња и горња ордината, редом) са променом растојања (апсциса) између елементарних тачака или честица материје /1,2/

Бошковић прихвата Њутнову претпоставку да се спајањем тачака добијају сложеније честице првог реда, спајањем ових се добијају честице другог, затим трећег реда... Даљим спајањем настају атоми, који нису елементарне честице већ се састоје од делова. За молекуле сматра да су још крупније честице. Честице виших редова, атоми, молекули, чак и цео Сунчев систем, само су поједини ступњеви у хијерархији материје. Бошковић указује да би „сви светови мањих димензија, узети заједно, били као једна једина тачка у односу на онај већи" свет. Сматра да за сваки пар честица на било ком ступњу хијерархије материје важи крива приказана на слици 1, при чему број лукова, њихова величина и облик могу бити различити.

Бошковић указује да су при неким растојањима одбојна и привлачна сила изједначене, па су честице у равнотежи. Разликује две врсте случајева. У случајевима E, I, N и R (слика 1) при повећању растојања расте привлачна, а при смањивању растојања расте одбојна сила. Тад се честице налазе у постојаној равнотежи, јер ако се случајно повећа (или смањи) растојање између њих, тада настаје привлачна (или одбојна) сила и поново их враћа на претходно растојање. Те положаје је назвао **границама кохезије**. У положајима G, L и P честице су у непостојаној равнотежи, јер повећање (или смањивање) растојања доводи до појаве одбојне (или привлачне) силе и до још већег растављања (или приближавања) честица. Ове положаје је назвао **границама некохезије**.

Квантни смисао теорије

По Бошковићу, ако се нека честица налазе у центру, друга се може кретати по сфери (орбитали) чији је полупречник једнак некој граници кохезије. При томе постоји онолико орбитала колико има тих граница (слика 2). Ова честица може да прелази са једне на другу орбиталу. При томе се мења њена брзина. Указује да *промена квадрата брзине има одређену вредност*, једнаку разлици површина испод одбојног и изнад привлачног лука на слици 1 између те две границе кохезије. У физици је познато да кад се та промена квадрата брзине помножи с масом честице и подели са два, добија се о*дређена промена енергије – „квант енергије"* како се данас назива. Бошковићева теорија је заправо *прва квантна теорија*, изречена век и по пре Планка (Max Karl Ernst Ludwig Planck) и Бора (Niels Bohr), којима се обично приписује заслуга за откриће те теорије.



Слика 2 Орбитале у Бошковићевој теорији /1, слика 33/

Улога у открићу структуре атома

У литератури се до 1920. редовно наводио значај Бошковића за откриће структуре атома. Данас се то изоставља, већ се најчешће наводе Далтон (John Dalton), Џ. Томсон (Joseph John Thomson), Радерфорд (Ernst Rutherford) и Бор А, како је заиста било?

Леукип (Leucipos) и Демокрит (Democritos) су у 5. в. пне. дошли на помисао да је све направљено од атома (сићушних недељивих честица) и празнине. Далтон је на почетку 19. в. закључио да сваки хемијски елемент има своје најситније делиће и назвао их атомима, верујући да су недељиви. Крајем 19. в. је утврђено да ови хемијски атоми, ипак, имају делове – негативно наелектрисане електроне и позитиван остатак атома. Поставило се питање како су размештени ови супротоно наелектрисани делови.

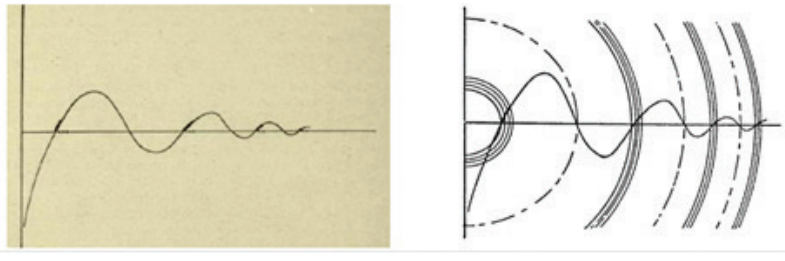
В. Томсон (William Thomson, познатији као Лорд Келвин) је 1902-1907. истицао да се то питање може решити помоћу Бошковићеве теорије и предложио „планетарни модел атома": позитивно наелектрисање је смештено у језгру атома, а електрони круже око њега. Џ. Томсон је 1903-1907. као теоријску подлогу да се електрони крећу само по неким стазама (орбиталама) око језгра наводио „Бошковићев атом који делује на једну честицу средишњом силом, која се мења од одбојне до привлачне и од привлачне до одбојне неколико пута" и то приказао Бошковићевом кривом (слика 3, лево) /5/. У координатном почетку се налази позитивно наелектрисано језгро атома. На апсциси је растојање електрона од језгра, а на ординати су силе: одбојна (доле) и привлачна (горе). Томсон је означио положаје орбитала (слика 3, лево). На овим положајима су на слици 3 (десно) доцртане „дозвољене" (пуна линија) и „забрањене" (испрекидана линија) орбитале негативних електрона /6/.

Радерфорд је био сарадник Џ. Томсона у Кембрицу, а касније је постао професор у Манчестеру. Опитима је 1911. потврдио планетарни модел, који је потом по њему назван „Радерфордов модел". Бор је 1912. боравио седам месеци код Томсона и четири месеца код Радерфорда, упознао се са овим резултатима, па је 1913. израчунао могуће стазе електрона, узимајући у обзир да електрони могу прећи са једне на другу орбиталу само ако приме или предају одређену количину (квант) енергије – на шта је Бошковић указао век и по раније. Данас се овај модел атома назива „Боров модел".

Међутим, Џил (Henry Vinsent Gill) /6/ сматра да такви називи модела нису оправдани и указује да је у периоду 1903-1907. „Џ. Томсон показао да се концепт дозвољених и забрањених орбитала може непосредно извести из Бошковићевог закона сила", да је Бошковић дао „суштински елемент модерном схватању атома", а да су „други пожњели оно што је Бошковић посејао две стотине година раније". Зато је за Џила то „Бошковић-Томсонов" модел атома. Џил сматра да не би било исправно да се занемари допринос Бошковића када се буде писала историја атомске теорије.

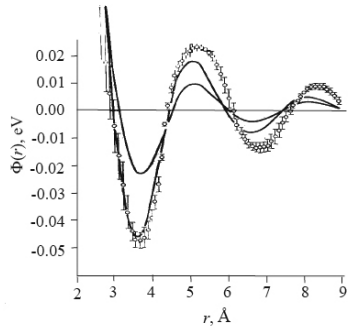
Потврда савремене науке

Откривањем кваркова и сложенијих честица (протона, неутрона, атома, молекула, макромолекула...) савремена наука је потврдила Бошковићево схватање о хијерархији материје од елементарних честица до све сложенијих ентитета. По Бошковићу, за сваки пар честица на било ком нивоу треба да важи крива на слици 1. Савремена наука је потврдила



Слика 3 Томсон је приказао Бошковићеву криву и задебљањем делова криве означио положаје орбитала (слика лево) /5/, а на слици десно су доцртане те орбитале /6/.

да се узајамно дејство честица на различитим нивоима хијерархије материје заиста описује Бошковићевом кривом, што је показано на примерима међудејства елементарних честица, атома, молекула, макромолекула, колоида и наночестица /7,8/. Овде наводимо само један пример (слика 4).



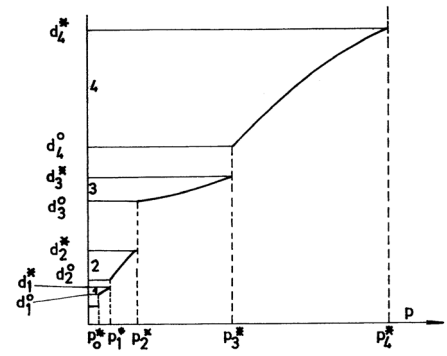
Слика 4 Крива међудејства два атома натријума је слична Бошковићевој кривој (слика 1). (Ф је енергија; r је растојање између атома; тачке су експериментални резултати; пуне линије су теоријска очекивања) /9/.

Бошковић vs Савић-Кашанин

Од настанка Бошковићеве теорије /1/ па до појаве теорије Савић-Кашанин /12/ постоји раздобље од цела два века. Прва теорија се темељи на закону континуитета и полази од начела класичне Њутнове механике, а друга свој основ има у квантној механици. Кад се узме у обзир да је Бошковић свој закон сила углавном примењивао на примарне елементе материје (непротежне и недељиве тачке), и на честице првог и другог реда, а да Савић и Кашанин своја разматрања усредсређују на честице „од атома до небеских тела" /13/, тада нам се чини да су полазишта, а и предмети ове две теорије потпуно различити. Ипак има много заједничког у обе теорије. Пре свега то је дијалектичка основа и једне и друге теорије /7,14/.

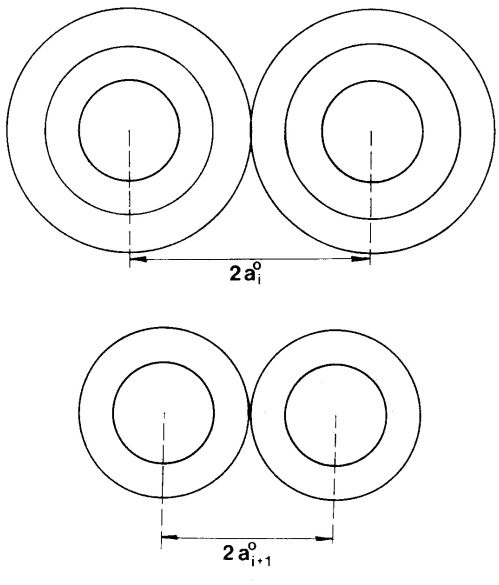
Размотримо прво сличности и разлике ових теорија у тумачењу згушњавања при сажимању материје. Густина материје представља однос између масе и запремине тела које се састоји од великог броја честица. Бошковићев закон сила и тада важи; две по две честице сачињавају парове који се покоравају његовом закону сила. По Бошковићу, ако се расуте честица сажимају, тада се **густина тела постепено мења, без икаквих скокова** /1, одељак 51/. Скоковита промена густине није могућа, јер „ако би нека одређена густина трајала један сат, те ако би се тада у временском тренутку подвостручила у другу, која ће исто тако трајати идући сат, у временском тренутку који дели сатове ће морати да постоје две густине заједно, тј. она једнострука и она двострука..." /1, одељак 52/. Тело би у том тренутку имало две густине, што је непојмљиво.

До које мере може ићи сажимање материје? Бошковић сматра да „као што нема границе у повећању разређености, тако нема никакве границе повећању густине" /1, одељак 89/. Савић и Кашанин, пак, сматрају да се при компримовању материје наизменично смењују интервали постепене и скоковите промене густине (слика 5) /13/. Густина се постепено мења од $d1^0$ до d1* у интервалу притиска од p_0* до p_1*. Затим при p_1* настаје скоковита промена густине од d_1* до d_2^0. Све до притиска p_2* је опет интервал постепене промене густине, затим опет скоковита промена итд. Материја може имати само оне вредности густине које одговарају интервалима 1, 2, 3, 4... Сваком интервалу одговара једно фазно стање материје у коме се густина постепено мења. Прелазак из једне фазе у другу је скоковит у погледу промене густине.



Слика 5 Промена густине материје (d) са променом притиска (p) према теорији Савић-Кашанин /13/

Узроке оваквим наизменично скоковитим и постепеним променама густине материје Савић и Кашанин траже у квантно-механичким законима, којима се описују структура и својства атома. При приближавању атома настаје тренутак када су они довољно близу један другом да им се путање спољних електрона „додирују". То Савић и Кашанин приказују орбиталама (слика 6) позивајући се на Боров модел атома. (Међутим, то је истоветно с Бошковићевим орбиталама на сликама 2 и 3). Пошто у истој путањи не могу бити више од два електрона (Паулијево начело забране), даље сажимање је могуће само ако електрони напусте дотадашњу путању и отисну се од атома тражећи нова пространства за сопствено кретање. Атоми, огољени због одбеглих електрона, могу се даље зближавати све док се поново не „додирну" с преосталим спољним електронима. „Како су електрони распоређени по дискретним, размакнутим нивоима, који су одсечно одвојени једни од других..., биће њихово приближавање под притиском у скоковима. Сагласно томе се и **густине материјала под притиском морају мењати у скоковима или одсечним прелазима с једне вредности на другу"** /13, стр. 70/.



Слика 6 Приказ скоковитог приближавања атома под притиском где се уочава скоковита промена полупречника дејства (a0i>a0i+1) /13/

Густина тела се постепено мења без икаквих скокова – тврди Бошковић. Густина материје под притиском се мора мењати у скоковима – тврде Савић и Кашанин. Бошковић, грађанин 18. века, гради своја схватања на закону континуитета и класичној Њутновој физици. Савић и Кашанин потпору налазе у модерној квантној механици, која је скоро у потпуности истисла закон континуитета и Њутнову механику из микро-света. Стога се Савић и Кашанин не позивају на Бошковића, мада им је његова теорија позната. Ко је од њих у праву – Бошковић или Савић и Кашанин?

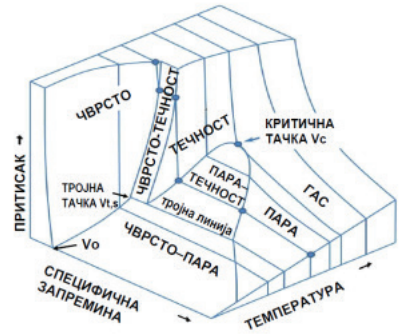
Веза између Бошковићевог закона сила и савременог модела атома је остварена кроз радове Лорда Келвина, Џ. Томсона, Радерфорда и Бора. То је први низ карика од Бошковића ка Савићу, будући да је Боров модел атома послужио Савићу као приказ за тумачење узрока скоковитих промена густина. Наредне карике су прорачун промене потенцијалне енергије при приближавању два атома који се заснива на квантно-механичком моделу атома (слика 4) и примена овог прорачуна за предвиђање својстава различитих фазних стања материје, што је описано у књигама Крокстона /9/ и Портноја /15/, мада ови аутори не наводе радове Бошковића, Савића и Кашанина. Међутим, показало се да се промена потенцијалне енергије при приближавању два атома, уз уважавање њихове дискретне квантно-механичке структуре (управо она појава коју узимају у обзир Савић и Кашанин), описује кривом која је истоветна са Бошковићевом (слика 4). Овим је повезан пут од Бошковића, преко Лорда Келвина, Џ. Томсона, Радерфорда, Бора, Крокстона и Портноја до Савића и Кашанина.

Штавише, и Бошковић запажа да на његовој кривој постоје размаци при којима се честице спонтано сажимају и размаци када је сажимање могуће само ако постоји спољни притисак /1, одељци 190-194/. Рецимо, ако су два атома на растојању R (слика 1), тада је даље зближа-

вање ових атома могуће само уколико се делује спољним притиском, довољно великим да се савлада одбојни лук RQP. А када атоми дођу на растојање мање од P, међу њима делује привлачна сила и они се спонтано и убрзано приближавају; није потребан никакав спољни притисак. Кад дођу на растојање мање од N, опет се јавља одбојна сила и поново је потребно деловати спољним притиском да би дошло до сажимања материје. На Бошковићевој кривој се наизменично смењују интервали спонтаног и присилног приближавања честица.

Границе кохезије и некохезије Бошковићевој кривој (E, G, I, L, N, P, R) (слика 1) су почеци и завршеци појединих степеника у дијаграму Савића и Кашанина (слика 5). На тај начин, **сваком степенику у дијаграму Савића и Кашанина одговара један одбојни и њему суседни привлачни лук Бошковићеве криве**. Одбојном луку Бошковићеве криве одговара постепена, а привлачном луку скоковита промена густине. Штавише, сличан је смисао координата на сликама 1 и 5. На дијаграму Савића и Кашанина је на апсциси приказан притисак, тј. **сила** која делује на јединицу површине, а та **сила** је приказана као ордината на Бошковићевој кривој. А на Бошковићевој кривој је на апсциси приказан **размак** између честица, а мањем размаку одговара већа **густина**, која је приказана на ординати дијаграма Савића и Кашанина.

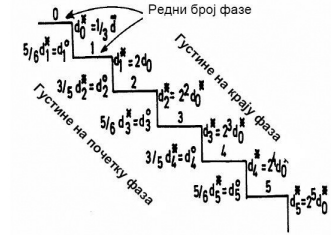
Није ли онда Бошковић погрешио кад је тврдио да се густина материје мора континуално мењати, без скокова? Није! Познато је да се густина скоковито мења при преласку из парног у течно, а потом из течног у чврсто стање (слика 7). То су фазне промене првог реда. Али су такође познати и примери код којих се, идући из једног фазног стања у друго, густина постепено мења пролазећи кроз све међувредности. На пример, ако се пара загреје изнад температуре критичне тачке, затим се гас сажима обилазећи критичну тачку, па потом хлади до течног стања. То су фазне промене другог и вишег реда. Но у оба случаја, промена се остварује тако што делић по делић система честица прелази из једног фазног стања у друго. На том микро-нивоу прелаз је скоковит. И то је оно што описују и Бошковићева крива и дијаграм Савића и Кашанина. Али на макроскопском нивоу, промена густине је постепена. Због тога, на питање, ко је у праву Бошковић **или** Савић и Кашанин, постоји дијалектички одговор: **и** Бошковић **и** Савић и Кашанин.



Слика 7 Фазна стања материје /16/

Савић и Кашанин у виду једног степенастог дијаграма математички приказују промену густине материје на почетку и на крају појединих фаза (слика 8). Они овај закон о скоковитим променама густине нису теоријски извели из квантно-механичког модела атома, већ су на основу емпиријских података о густинама планета у Сунчевом систему дошли до правила да се густине материје (d) на крајевима појединих фаза (i) скоковито удвостручују, једн. (1).

$$d_{i}+1^{*} = 2xd_{i}^{*} \qquad (1)$$



Слика 8 Густине на почетку di0 и на крају di појединих фаза (i = 1, 2, 3...) према теорији Савић-Кашанин /13/*

Густине на почетку фаза се израчунавају тако што се густине на крајевима поделе са параметром α, при чему је α=3/5 за парну фазу, односно са α=5/6 за непарну фазу. Ове вредности параметара α су израчунали на основу Ван дер Валсове (van der Waals) једначине стања за стварне гасове (2).

$$(P + a/V^2)(V - b) = RT \qquad (2)$$

Овде су P, V и T притисак, молска запремина и апсолутна температура гаса, редом; a и b су константе различите за поједине гасове; R је универзална гасна константа.

Из једн. (2) следи да константа b, тзв. „коволумен", представља запремину V0, коју би гас имао на апсолутној нули, тј. при T = 0 K (слика 7). Показано је да из једн. (2) следи да је b једнако трећини запремине коју материја има у критичној тачки (Vc на слици 7) /16/. Савић и Кашанин за израчунавање параметра α узимају наведене односе ових запремина (3), што је једна од битних претпоставки за добијање њиховог математичког модела (слика 8).

$$b = V_0 = V_c/3 \qquad (3)$$

Зна се да је специфична запремина материје (V) једнака реципрочној вредности густине (d) (4), тако да је једноставно израчунавати вредност једне од њих ако је друга позната.

$$V = 1/d \qquad (4)$$

Друга важна претпоставка Савића и Кашанина за добијање математичког модела јесте да баш на крају нулте фазе материја има запремину, односно густину, која одговара критичној тачки Vc (5).

$$d_0^* = 1/V_c \qquad (5)$$

Наведени математички модел (слика 8) су Савић и Кашанин применили за израчунавање средње густине планета у Сунчевом систему и резултате прорачуна упоредили са астрономским подацима који су им тада стајали на располагању. Према њиховом прорачуну нека планета треба да има густину 0,67 g/cm^3, што приближно одговара густини Сатурна (0,65 g/cm^3). За једну групу планета је израчуната густина 1,33 g/cm^3, што одговара густинама Јупитера, Урана и Нептуна. За другу групу планета је израчуната густина 5,33 g/cm^3, што одговара густинама Земље, Венере и Меркура. Слагање израчунатих и измерених вредности је веома добро. Велико неслагање је једино у случају средње густине Марса која би по прорачуну требало да буде 5,33 g/cm^3, а емпиријска вредност је 3,94 g/cm^3. Савић и Кашанин су сматрали да је њихов прорачун исправан, а ово неслагање су приписали грешци астрономског податка о полупречнику Марса.

Примена обе теорије

Имајући у виду да је Бошковићева теорија потврђена резултатима савремене науке, намеће се питање: Да ли је она применљива и корисна за савремену науку? Она не може непосредно дати решење савремених научних проблема, али је добар путоказ ка налажењу решења савременим научним методама. На то је указао нобеловац Ледермен (Leon Lederman), који 1993. написао да неке Бошковићеве идеје представљају **„кључ за целокупну модерну физику"** /10/. Моји сарадници и ја смо неколико пута следили Бошковићеве путоказе и применом теорије Савића и Кашанина успешно налазили одговоре на нека отворена научна питања, што ћемо овде само укратко приказати.

1) Карактеристичне запремине материје и њихов смисао /17/

Бошковић указује на могућност да две честице крену у сусрет једна другој из веома велике удаљености, али путањама које нису на истој правој, већ се мимоилазе. Када приђу на растојање које одговара некој граници кохезије, могуће је да остану једна поред друге и да се врте око непокретне средишње тачке простора /1, одељак 201/. Својим ће кретањем пар честица описивати сферу, чији пречник за-

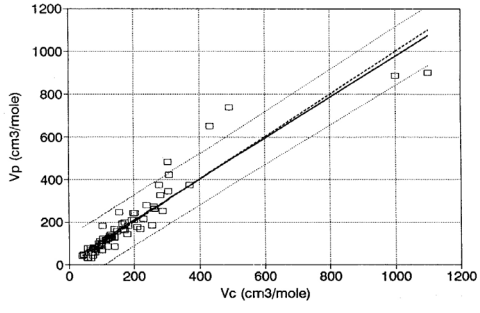
виси од размака честица на тој граници кохезије.

Данас се зна да се молекули у гасовима налазе на великом растојању и да се брзо крећу. Ако би два молекула пришла један другом на растојање које одговара граници кохезије (по Бошковићу), односно минимуму потенцијалне енергије (према савременом начину приказивања), тада се запремина сфере за ротацију молекулског пара може израчунати помоћу израза (6):

$$V_p = (2/3)\pi r_e^3 N \qquad (6)$$

Овде је V_p запремина сфере коју окупира молекулски пар, срачуната на један мол; re је равнотежно растојање између молекула, за које постоје експериментални подаци за велики број супстанци; $\pi = 3{,}14$; N је Авогадров број (6,023x1023 молекула по молу).

Ако би скоро сви молекули гаса били спарени у ротирајуће парове на растојању r_e које одговара првој граници кохезије (растојање R на слици 1), тада би то било неко карактеристично стање материје, а њена запремина би била приближно једнака V_p. На основу експерименталних података за r_e за 92 супстанце су израчунате вредности за V_p. Запазили смо да су вредности V_p једнаке запреминама материје у критичној тачки V_c (слика 9). (Положај и смисао критичне тачке је приказан на слици 7).



Слика 9 Једнакост критичне запремине V_c и запремине молекулског пара V_p. (експериме-нтални подаци за 92 супстанце; - регресиона права; - - очекивана права; ····границе пове¬рења); стандардна грешка 60,1 cm³/mol; коефицијент корелације 0,94) /17/

Може се закључити да прва граница кохезије (растојање R на слици 1) има одређени физички смисао и да одговара одређеном особеном стању материје, тј. критичној тачки. Разумно је упитати се да ли и друге границе кохезије и некохезије имају неки физички смисао. Да бисте израчунали запремине материје чији се молекули налазе на другим границама кохезије и некохезије, могли бисте се послужити дијаграмом Савића и Кашанина (слика 8), јер сваком степенику тог дијаграма одговара један одбојни и један привлачни лук Бошковићеве криве. Међутим, запазили смо да су они извођење свог математичког модела засновали на неколико претпоставки, од којих три нису у складу с новијим емпиријским подацима.

Прва претпоставка: емпиријски подаци показују да нису тачни односи дати изразом (3), већ изразом (7).

$$V_c = 2\,b = 4\,V_0 \qquad (7)$$

Друга претпоставка: разматрање сажимања гасовитог етилена је показало да заиста настају различите фазе /18/. Међутим, етилен има густину једнаку критичној на крају прве, а не на крају нулте фазе како су претпоставили Савић и Кашанин (израз 5).

Трећа претпоставка: Савић и Кашанин су претпоставили да је почетно (нулто) стање материје пре сажимања заправо стање разређеног гаса. Познато је да је његова густина блиска нули. Међутим, према њиховом степенастом моделу (слика 8), почетак нулте фазе има неку већу густину, што није у складу са њиховом претпоставком.

Зато смо ми израчунали параметре α у складу са наведеним емпиријским чињеницама /17/: уместо 3/5 и 5/6, као код Савића и Кашанина, параметри α(i) имају вредности према изразу (8). На основу израза (1), (4) и (7) се може закључити да запремине материје на крајевима прве,

друге и треће фазе одговарају критичној запремини (V_c), коволумену (тј. ван дер Валсовој константи b) и запремини материје на апсолутној нули (V_0). Кад се овим прилагођеним параметрима (8) помноже запремине на крају фаза, добијају се запремине на почетку фаза, (слика 10) и израз (9). Показало се да и запремине на почетку фаза имају одређени физички смисао: V_M одговара запремини, коју окупирају појединачни ротирајући молекули; b_0 је запремина чврсте сфере, коју окупирају два молекула на растојању при ком је потенцијална енергија једнака нули према познатом Ленард-Џонсовом моделу; $V_{t,s}$ је запремина чврсте фазе у тројној тачки (слика 7). Веома добро слагање израчунатих са експерименталним вредностима наведених запремина је потврђено за 144 различите супстанце (слика 11).

$$\alpha(i) = V_i^0/V_i^* = d_i^*/d_i^0 = 2^{1/i} \qquad (8)$$

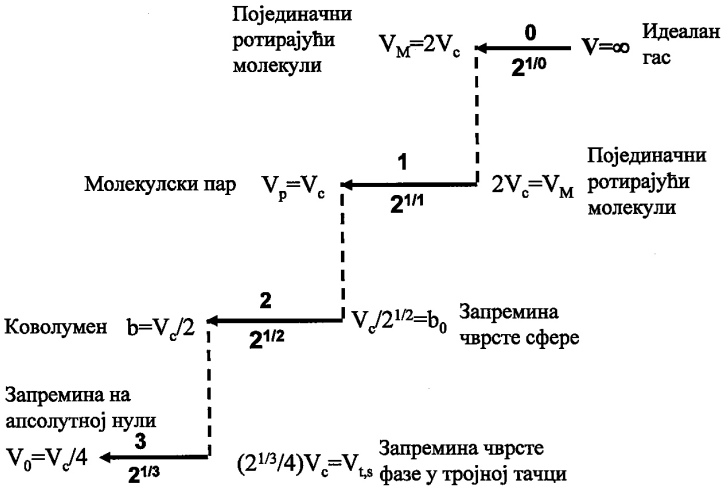
i је редни број фазе; i = -1, 0, 1, 2, 3...

$$V_x/V_c = 1/2^{i-1} \qquad (9а)$$

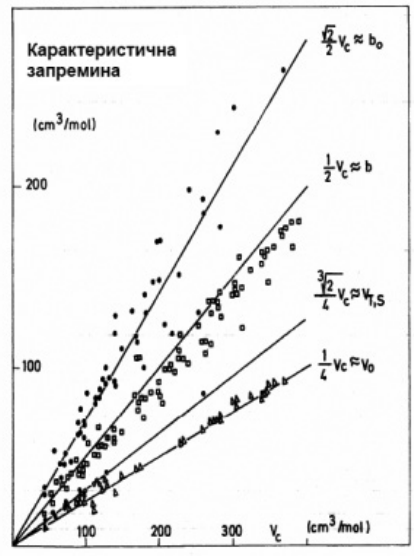
$V_x = V_c$, b, V_o за i = 1, 2, 3 (редом)

$$V_y/V_c = 2^{1/i}/2^{i-1} \qquad (9б)$$

$V_y = b_o$, $V_{t,s}$ за i = 2, 3 (редом)



Слика 10 Однос између запремина материје у карактеристичним стањима и критичне запремине V_c /17/



Слика 11 Однос између критичне Vc и других карактеристичних запремина: запремина чврсте сфере b_0, коволумен b, запремина чврсте фазе у тројној тачки $V_{t,s}$ и запремина на апсолутној нули V_0. Линије су очекиване вредности на основу нашег модела (слика 10), а тачке су емпиријске вредности, узете из литературе, за 143 супстанце и то: метали, инертни гасови, елементи, незасићени и засићени угљоводоници, ароматски угљоводоници, органска и неорганска једињења кисеоника, азота, сумпора и халогена /17/.

Битно је запазити да наш степенасти дијаграм (слика 10) описује промену запремине материје од стања идеалног гаса (када молекули постоје појединачно и имају највећу слободу транслационог и ротационог кретања) до апсолутне нуле температуре (када је материја у чврстом стању, а молекули су потпуно престали да се крећу). У спрези сажимања (компримовања) и хлађења, постепено се смењују (настају и нестају) различити облици кретања молекула, а материја пролази кроз нека карактеристична стања, као што су нпр. критична тачка и тројна тачка. Запремине наведене у нашем моделу (слике 10 и 11) се односе на таква карактеристична стања материје која не зависе од притиска и температуре, већ су одређена само њеним хемијским саставом, природом саме материје и Бошковићевим законом атрактивних и репулзивних сила које постоје у природи.

Имајући у виду да за веома различите 144 супстанце исти математички модел описује њихово згушњавање од идеалног гаса до чврстог стања, могу се извући следећи важни закључци: /17/

а. *Све супстанце су изложене истој промени структуре при прелазу из једног у друго карактеристично стање*. У противном, промене запремина би се описивале различитим математичким моделом за различите супстанце.

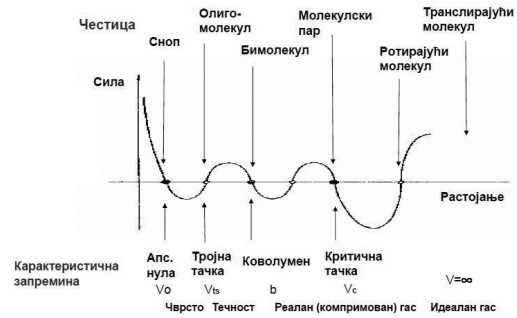
б. *Све супстанце имају исту надмолекулску структуру у истом карактеристичном стању*. Овај закључак је логична последица претходног закључка.

На основу ова два закључка разумно је претпоставити да све супстанце имају исту структуру у почетном стању (идеалан гас) која се преобликује у неку другу структуру исту за све супстанце када пређу у неко друго стање. Заиста, без обзира на хемијски састав све супстанце у стању идеалног гаса имају неуређено хаотично кретање појединачних молекула, исто просечно растојање између молекула, исту енергију једнаку производу притиска и запремине... Не само у стању идеалног гаса, већ и у условима када гасови различитих супстанци имају запремину која је једнака критичној, њихови молекули су спарени, а запремина ротирајућег пара је једнака критичној запремини (слика 9).

2) Међудејство молекула у реалним гасовима и течностима

Савремена наука је у највећој мери успела да опише структуру и објасни својства материје у уређеном кристалном стању и потпуно неуређеном стању идеалног гаса. Међутим, и данас постоје многа отворена питања у погледу тумачења структуре флуида, а то су гасови на повишеним притисцима (тзв. реални гасови) и течности. Сматра се да у течностима постоји делимична уређеност молекула која се протеже само на малим растојањима.

Путокази за разматрање структуре флуида налазе се у Бошковићевој теорији. По њему, у течностима се међудејство честица може описати сличном кривом као на слици 1, али која има две границе кохезије и једну границу некохезије (односно два минимума и један максимум потенцијалне енергије) /2/. До испаравања долази када честице заузимају веће удаљености него што су удаљености граница кохезије, али тако да су најудаљенији привлачни лук и одбојни лук који следи иза њега знатно већи /1, одељак 431/. На основу ових описа је С. Паушек-Баждар /19/ нацртала Бошковићеву криву (слика 12) за промене физичког стања, а ми смо на њој означили растојања која одговарају карактеристичним запреминама материје и навели одговарајуће честице на основу нашег степенастог дијаграма (слика 10) /20/, проистеклог прилагођавањем теорије Савић-Кашанин.



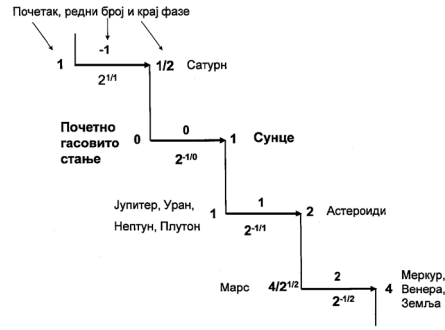
Слика 12 Бошковићева крива промене физичког стања /19/ на којој смо означили карактеристичне запремине материје и одговарајуће честице на основу нашег степенастог дијаграма (слика 10) /20/

У идеалним гасовима су молекули на великом растојању, транслационо и ротационо се крећу и међу њима преовладава одбојна сила. При сажимању идеалног гаса смањује се простор за транслационо кретање и преовлађује обртно кретање молекула, затим настају ротирајући молекулски парови на растојању што одговара првој граници кохезије и они окупирају запремину која је једнака критичној запремини. Даље згушњавање гаса (кондензација) до густине течности је могуће само ако се молекули још више прибли-

же и приљубе један уз други – настају бимолекули који могу да ротирају око све три просторне осе и при томе окупирају запремину која је једнака коволумену b. Хлађењем се смањује способност ротације бимолекула тако да могу да се обрћу само око једне осе, а усклађивањем њиховог кретања настају низови молекула (тзв. олигомолекули) који ротирају само око једне осе. Течности се састоје од смеше бимолекула и олигомолекула. Даљим хлађењем, све већи број бимолекула постепено се спаја у олигомолекуле. Када се сви споје, даљим хлађењем се олигомолекулима одузима обртно кретање, што доводи до њиховог спајања и настају снопови. Овакав след промена су експериментално утврдили Корољев и сарадници /21/ испитујући више од 8.000 супстанци: при хлађењу гаса, на температури кондензације појединачни молекули прелазе у течност са спареним молекулима. Даљим хлађењем настаје линеарни олигомер, а потом се сви молекули у течности међусобно повезују физичким везама стварајући непрекидну асоцијативну структуру.

3) Израчунавање средње густине планета нашим степенастим моделом

Наш степенасти модел (израз 9 и слика 10) се може представити и помоћу густине материје, која је реципрочна вредност запремине (4). На основу наведеног је добијен наш математички модел који приказује однос средње густине планета и густине Сунца (слика 13).



Слика 13 Однос средње густине планета и густине Сунца (ds=1,41 g/cm³) према нашем моделу /7,22,23/

Имајући у виду да је средња густина Сунца једнака 1,41 g/cm³, израчунали смо средње густине планета (табела 1) /7,22,23/. Слагање са емпиријским подацима је веома добро. Уз то, за разлику од степенастог модела Савића и Кашанина (слика 9), наш модел показује да средња густина Марса треба да буде 4 g/cm³, што је блиско емпиријским подацима. На основу нашег модела, у Сунчевом систему могло би да постоји небеско тело (или више тела) средње густине 2,8 g/cm³, што приближно одговара густинама астероида (2,0 до 3,5 g/cm³).

	Емпиријски подаци	Средња густина (g/cm³) израчуната помоћу	
		модела Савића и Кашанина (слика 9)	нашег модела (слика 13) /7,22,23/
Меркур	5,43	5,33	5,64
Венера	5,25	5,33	5,64
Земља	5,52	5,33	5,64
Марс	3,93	5,33	4,00
Јупитер	1,33	1,33	1,41
Сатурн	0,71	0,67	0,71
Уран	1,27	1,33	1,41
Нептун	1,77	1,33	1,41

Табела 1 Средње густине планета у Сунчевом систему

Густина Плутона (који је недавно избрисан из списка планета) би према нашем моделу могла бити 1,41 g/cm³ што је у складу са неким емпиријским подацима (1,75 g/cm³), мада се у литератури могу наћи и друге веома различите вредности. Смер згушњавања је стрелицом означен на слици 13. Ако би Сатурн следио тај смер, тада не би дошло до његовог згушњавања, већ ширења до стања разређеног гаса. Другим речима, према овом нашем моделу планета Сатурн не може да се згусне.

Постоји хипотеза да Сунце има свог двојника, који је назван Немезис. Претпоставља се да је његова средња густина 79,21 g/cm³. Екстраполацијом нашег степенастог модела се може израчунати да би могло постојати тело густине 80,63 g/cm³, што је у доброј сагласности с наведеним податком за Немезис.

Закључак

Иако се ради о различитој природи сила, међумолекулским силама и гравитационој, математички модели приказани на сликама 10 и 13 потпуно су истоветни. То је у складу са Бошковићевим схватањима да постоји аналогија закона у природи, да су ти закони једноставни и да постоји један јединствени закон сила у природи. За извођење ових једноставних математичких модела био је потребан веома мали број емпиријских података (критична запремина, коволумен и запремина на апсолутној нули) уз коришћење најједноставнијих математичких израза (за израчунавање запремина лопте и ваљка) и поступака (четири аритметичке радње, и степеновање и кореновање). При томе су постигнуте веома значајне примене у различитим областима. Објашњен је (1) смисао критичне запремине материје /17,22/ и (2) развијен је метод за израчунавање карактеристичних запремина материје /17,22/; објашњено је (3) међудејство молекула у реалним гасовима и течностима /7,20/ и (4) физичко-хемијско стање и полимеризација компримованог етилена /18, 24/; (5) предсказан је утицај притиска на температуру топљења полиетилена /7,18, 24/; (6) протумачена је полимеризација течног метилметакрилата /20,25/ и (7) дат је модел за израчунавање средње густине планета /23/.

Закон природе, по коме се густине материје на крају појединих фаза односе према изразу $d = d_0 \times 2^a$, који су уочили Савић и Кашанин анализирајући густине планета у Сунчевом систему, има кудикамо дубљи смисао него што су му сами аутори приписали. Тумачећи скоковите промене у густини материје скоковитим преласком електрона с једне путање на другу, Савић и Кашанин су, додуше несвесно, у своју теорију уградили и Бошковићев закон о узајамном деловању честица материје. Сваком степенику у дијаграму Савића и Кашанина одговара један пар суседних лукова Бошковићеве криве. Ова сличност, а и заједничко дијалектичко језгро обе теорије даје обема универзалност својствену општим законима природе на чијим темељима почива велелепно здање савремене науке. И док је Бошковићева теорија еволуирала од узајамног деловања „непротежних тачака материје" до квантног модела атома, одатле теорија Савића и Кашанина наставља описујући како ти исти атоми граде планете у Сунчевом систему.

Стога и није изненађујуће да је уродио плодом и наш покушај да у степенике Савића и Кашанина и Бошковићеве лукове уградимо молекулске и надмолекулске честице. Тако смо добили да запремине на почетку и на крају сваке фазе представљају карактеристичне запремине материје. То су универзална стања материје, једнозначно одређена природом саме материје и Бошковићевим законом сила.

Литература

1. Bošković R., Philosophiae naturalis theoria redacta ad unicam legem virium in natura existentium, Веč, 1758. (прво издање), Venecija, 1763 (друго издање); A Theory of natural philosophy, The Massachusetts Institute of Technology, M.I.T. Press, Cambridge, 1922. i

1966.; „Teorija prirodne filozofije svedena na jedan jedini zakon sila koje postoje u prirodi", (dvojezično: latinski i hrvatski), Liber, Zagreb, 1974.
2. Boscovich R., „De viribus vivis", 1745., videti Martinović I., „Filozofija znanosti Ruđera Boškovića", Filozofsko-teološki institut Družbe Isusove, Zagreb, 1987., str 68.
3. Stoiljković D., (a) „Teorija Ruđera Boškovića kao putokaz ka kvantnoj mehanici", Arhe, 2, 181 (2005), (b) „Праотац квантне теорије", Нова Галаксија (штампано издање), No 1, 86-92 (2018)
4. Стоиљковић Д., „ Руђер Бошковић – претеча савременог схватања структуре атома", Хемијски преглед, 49 (3), 54-57 (2008)
5. Thomson J. J., The Corpuscular Theory of Matter, Charles Scribner's Sons, New York, 1907.
6. Gill H. V., Roger Boscovich, S. J. – Forerunner of Modern Physical Theories, M. H. Gill and Son, Ltd., Dublin, 1941.
7. Стоиљковић Д., „Руђер Бошковић – утемељивач савремене науке", Петничке свеске 65, Истраживачка станица Петница, 2010.
8. Стоиљковић Д., „Филозофски принципи изучавања природе Руђера Бошковића", у књизи „Руђер Бошковић – претеча модерне науке", Издавачи „Мирослав" и Матица српска у Дубровнику, Београд, 2018.
9. Croxton A. C., Liquid State Physics – A Statistical Mechanical Introduction, Cambridge University Press, Cambridge, 1974.
10. Ледермен Л., Терези Д., „Божија честица", Сфинга, Београд, 1998. (Lederman L., Teresi D., The God Particle, 1993.)
11. Стоиљковић Д., „Сажимање материје – Одјеци Бошковићевих схватања у теорији Савић-Кашанин", „Флогистон", br. 13, 43-52 (2005); „Васиона", 53 (4) 178-184 (2005)
12. Savić P., Kašanin R., The Behaviour of the materials under high pressures, Serbian academy of sciences and arts, Monographs, Vol. 351, Section for Natural Sciences and Mathematics, No. 29, Beograd, 1962.
13 Savić P., „Od atoma do nebeskih tela – poreklo rotacije nebeskih tela", drugo izdanje, „Radivoj Ćirpanov", Novi Sad, 1978.
14. Stoiljković D., „Dijalektičko-materijalistička osnova teorije Savić-Kašanin o ponašanju materije pri visokim pritiscima i o nastanku rotacije nebeskih tela", Dijalektika, 14, 137 (1979)
15. Портной К. И., Богданов В. И., Фукс Д. Л., Расчет взаимодействия и стабильности фаз, „Металлургия", Москва, 1981.
16. Sirs F. V., „Uvod u termodinamiku, kinetičku teoriju gasova i statističku mehaniku", Vuk Karadžić, Beograd, 1964. (Original: Sears F. W., An Introduction to Thermodynamics, the Kinetic Theory of Gases and Statistical Mechanics, Addison-Wesley Pubilishing Co., 1953).
17. Stoiljković D., Macanović R., Pošarac D., The correlation between characteristic volumes of matter – a mathematical model and its physical meaning, J. Serb. Chem. Soc., 60, 15 (1995)
18. Stoiljković D., „Mehanizam i kinetika polimerizacije etilena pri visokom pritisku", doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1981.
19. Paušek-Baždar S., „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, 1983.
20. Stoiljković D., „Atrakcija i repulzija u nauci o polimerima, deo VI. Nadmolekulska organizacija tečnih monomera", Svet polimera, 21 (3) 9-13 (2018)
21. Королев Г. В., Могилевич М. М., Илъин А. А., Ассоциация жидких органических соединений: влияние на физические свойства и полимеризационные процессы, „Мир", Москва, 2002.
22. Stoiljković D., „Karakteristične zapremine materije – izračunavanje, smisao i značaj", plenarno predavanje, Zbornik radova sa V Sastanka hemičara Vojvodine, Kikinda, 18.-20.09.1986.
23. Stoiljković D., Calculation of mean density of solar planets by modified Savich-Kashanin method, XVII National conference of astronomers of Serbia, 23-27 September 2014, Belgrade, Publ. AOB No. 94 DAS No.1 DepAstro 21 (2016), 83 – 89.
24. Stoiljković D., Jovanović S., Supermolecular organization and polymerization of compressed ethylene, Acta Polymerica, 39, 670-676 (1988)
25. Radičević R., Korugić Lj., Stoiljković D., Jovanović S., Supermolecular organization and characteristic moments of the polymerization of methyl methacrylate, J. Serb. Chem. Soc., 60, 347-363 (1995)