

ЗАКОНИ ПЛАНЕТАРНИХ РАСТОЈАЊА НА СЛОВЕНСКОМ ЈУГУ. II ДИО: НОВИЈИ РАЗВОЈ

СЕНИША Р. ИГЊАТОВИЋ

*Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2,
78000 Бања Лука, Босна и Херцеговина
E-mail: sinisha@teol.net*

Резиме. Дат је преглед прилога о законима планетарних растојања насталих у јужнословенским земљама у задњих тридесетак година. У периоду 1955-1985 није скоро ни било интереса за ту тематику у региону успркос великом интересу у свијету (нарочито крајем 1960-тих и почетком 1970-тих година), а велики интерес се јавља тек 1992. Од тада прилози из региона чине значајан дио укупне свјетске литературе на ову тему. Већина прилога се може подијелити у 3 групе према приступу: емпиријске законитости, космогонијске теорије и квантовање орбита. Закони се обично изражавају у облику једне од 5 формула: традиционални и чисто експоненцијални Тицијус-Бодев закон, параболички закон аналоган Боровом моделу атома, линеарни закон и закон заснован на нулама Беселових функција. Многе комбинације ова 3 приступа и 5 формула испитиване су у прилозима насталим у региону. Врло мали број прилога је објављен у међународно признатој литератури.

Кључне речи: Сунчев систем, планете, сателити, Тицијус-Бодев закон

1. УВОД

У претходном прилогу (Игњатовић, 2014) детаљно су изложени доприноси на тему закона планетарних растојања настали у јужнословенским земљама до 1955. године. У сљедећих тридесетак година скоро да није било интереса за ту тему у нашем региону, иако је средина тог периода (око 1967-1973) у свијету представљала кулминацију интереса за законе планетарних растојања, па и за Сунчев систем уопште. Тек са мисијама „Војаџер” поново се и код нас јавља извјестан интерес, који се изненада повећава око 1992.

У задњих тридесетак година, у региону су се развила углавном три приступа законима планетарних растојања. Први приступ је феноменолошки; односи се на нове верзије емпиријских закона растојања планета и сателита. Почетком периода овај приступ налазимо код нашег

сарадника Л. Бабића, а у последњих 8 година о емпиријским законима много је писано у Бугарској.

Други приступ је квантовање орбита у Сунчевом систему, системима сателита и вансоларних планета. У Бугарској тај приступ налазимо углавном код В. Н. Дамгова, у Србији А. Томића, а у Хрватској код Антуна и Јасне Рубчић, али и код неких других аутора у региону. Сваки од аутора имао је, међутим, сопствени правац у оквиру тог приступа.

Трећи приступ је у вези са космогонијом Сунчевог система. У различитим правцима овај приступ су развили 1990-тих година с једне стране И. С. Лакићевић, а с друге група А. Белић, А. Богојевић и А. Балаж, сви са Института за физику у Земуну. Осим њих, овим приступом су се још занимали и А. Томић, као и аутор овог чланка.

Без обзира у којем контексту се појављују, најчешће формуле за законе планетарних растојања су (n је редни број планете, а a, b, c, r_0, r_1 константе):

- 1) „традиционални” Тицијус-Бодеев закон

$$r_n = a + b c^n, \quad (1)$$

- 2) чисто експоненцијални облик Тицијус-Бодеевог закона

$$r_n = r_0 c^n, \quad (2)$$

чија историја је детаљно студирана у (Игњатовић, 2010),

- 3) параболички закон

$$r_n = r_1 n^2, \quad (3)$$

- 4) линеарни закон

$$r_n = r_1 n, \quad (4)$$

- 5) закон заснован на нулама Беселових функција

$$r_n = c x_{v n} \quad (5)$$

гдје је $x_{v n}$ n -та нула Беселове функције $J_v(x)$. У литератури постоји још неколико формула, али то су већином генерализације релација (2) или (3). Поред вриједности константи, битно је и којим n одговарају „непопуњене” орбите, а – осим код формуле (2) – још и којој орбити се придружује $n = 1$.

Када се ради о чисто историјском приступу законима планетарних растојања, у претходном прилогу цитирани су сви ранији радови у том подручју: Д. Трифуновић, В. Микић и С. Игњатовић.

Након краће допуне претходном прилогу и осврта на један прегледни рад, сва три приступа су анализирана подробније. Закључци су изведени на крају.

2. ДОПУНА ПРЕТХОДНОМ ПРИЛОГУ

У току писања претходног прилога (Игњатовић, 2014), нисам још пронашао следеће референце. Чланак који је имао утицај на М. Хегедушића (можда и неке друге ауторе из региона) се односи на растојања у систему Сатурна (Дитрих, 1920). Хегедушићева књига (Хегедушић, 1931) не садржи ништа ново у вези са Тицијус-Бодеевим законом у односу на његове раније књиге.

3. ОСВРТ НА ЈЕДАН ПРЕГЛЕДНИ РАД

Наш сарадник Александар Томић одржао је у марту 1992. једно популарно јавно предавање на тему закона планетарних растојања. На основу тог предавања настао је прегледни рад (Томић, 1993). Један је то од првих радова у којем се види да Нието (1972) уопште не помиње многе битне референце. Посебно, презентирани приступ чисто експоненцијалног облика који су предложили Армелини и Бургати. Нажалост, многи аутори који се овом проблематиком баве са чисто истраживачког аспекта су у заблуди мислећи да Ниетова књига даје мање-више свеобухватну анализу проблема.

Томић дотиче и помало контроверзну тему спекулација о односима планетарних растојања у античко вријеме. Према Тириону (1900), неку врсту експоненцијалног закона налазимо још код Филолаја, дакле прије настанка хелиоцентричног система. Међутим, Хет (Хет, 1913) сматра да код Филолаја нема таквих спекулација.

Примијетимо да су старији читаоци „Васионе” имали, кроз тај рад и тамо цитиране референце, доста јасан преглед закона планетарних растојања.

4. ЕМПИРИЈСКИ ЗАКОНИ ПЛАНЕТАРНИХ РАСТОЈАЊА

Након 30 година паузе, први рад који се појавио на тему закона планетарних растојања на Словенском Југу био је рад професора физике из Чаковца Ладислава Бабића (Бабић, 1986). Бабић за релативне удаљености планета и сателита у системима Јупитера, Сатурна и Урана наводи формулу типа (1):

$$r_n = 1 + AB^{n-1}, \quad (6)$$

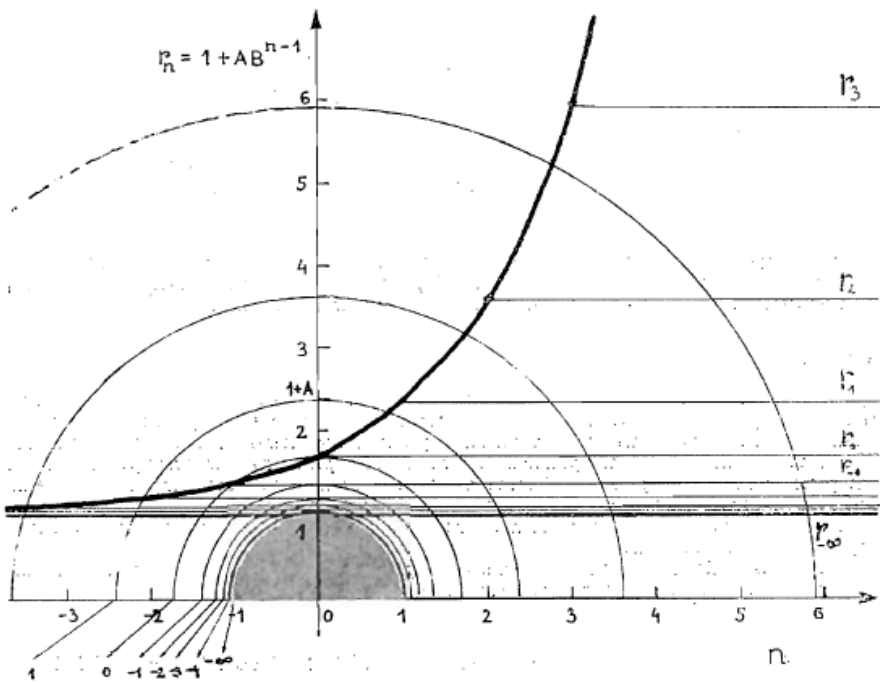
гдје су константе A и B добијене фитовањем стварних средњих растојања. С обзиром да првом објекту одговара формално $n = -\infty$, Бабић предлаже да се укључе и негативни цијели бројеви, тако да се уствари $r_{-\infty} = 1$ појављује као тачка нагомилавања.

Идеја о негативним редним бројевима за Бодеев закон није нова; још је Гаус примијетио да Бодеев закон не представља бројни низ због скока са $n = -\infty$ на $n = 1$ (или $n = 0$ у неким формулацијама) (Нието, 1972). Такође је Шарлие на основу те идеје изнио – иначе раније познату у другом контексту (у вези са прецесијом орбите Меркура) – хипотезу о постојању интрамеркурских планетоида (Шарлие, 1913). Ново у Бабићевом приступу је да он у системима сателита повезује $r_{-\infty}$ са Рошовом границом. Подсјетимо се да Рошова граница представља најмање растојање од центра матичне планете на којем би могао постојати један флуидни сателит, иако је јасно да мања стјеновита тијела могу бити стабилна и на нешто мањим растојањима.

Бабићев рад могао је имати значаја из два разлога. Прво, на основу формуле (6) могла су се, у доста доброј апроксимацији, предвидјети растојања сателита Урана и Нептуна који тада још нису били откривени. Други разлог појавиће се уствари тек неколико година након објављивања Бабићевог рада.

Наиме, Гране и Дибрил су повезали експоненцијални облик Тицијус-Бодео-вог закона са размјерском (скалирајућом) инваријантношћу и осном симетријом Сунчевог система (Гране и Дибрил, 1994). Скалирајућа инваријантност значи да у систему нема неке посебне скале растојања, па би се евентуално постојање једне скале у систему – манифестовано кроз константан члан у (1) – свакако могло повезати са карактером система и, у крајњој линији, вјероватно и са његовим настанком. Бабић уствари показује да у системима сателита постоји врло јасно дефинисана скала, приближно једнака Рошовој граници. Теже је објаснити постојање једне скале у Сунчевом систему, гдје би наравно морала бити много већа од Рошове границе због негравитационог дјеловања Сунца. По мом мишљењу, постојање овако очигледне скале у системима сателита у односу на другачију скалу у Сунчевом систему – на које је указао Бабић – доводи у сумњу понекад истицани аргумент да су за космогонијски проблем системи сателита великих планета наводно бољи примјер од Сунчевог система јер их има четири, не само један.

БАСИОНА XXXIV 1986. 1—2 _____ 27



Слика 1: Графикон из Бабићевог рада који показује зависност (6) од редног броја објекта. Дебела линија показује зависност као непрекидну функцију, а концентрични кругови указују на дискретни карактер функције.

Бабићев рад је објављен са три године закашњења, и то баш у броју „Васионе” у којем су представљени резултати проласка „Војацера” поред

Урана. Нажалост, рад је прошао непримијећен а сличне идеје су скоро истовремено објавили други аутори, нпр. (Нојхојзер и Фајцингер, 1986).

Прије неких петнаестак година, Бабић је предао у „Васиону” још један рад на тему закона планетарних растојања. Предложио сам да се рад – прије свега као природан наставак рада из 1986. – објави, али је редакција одлучила да не прихвати рад. Једна верзија рада касније је објављена на Интернету (Бабић, 2000). У том раду Бабић покушава да објасни Тицијус-Бодев закон помоћу једноставних закона одржања, што је свакако оригиналан приступ.

Бугарски астроном Кирил Пантелеев Панов (р. 1943) објавио је два рада о чисто експоненцијалном облику Тицијус-Бодевог закона (Панов 2009а,б). Панов прво фитује Сунчев систем и системе сателита великих планета експоненцијалним законом (2):

$$r_n = C e^{2n/k}$$

постулирајући минималан број „слободних” орбита. Касније тај приступ примјењује на вансоларне планетарне системе звијезда 55 Cancri и HD160692. Код Панова налазимо подјелу сваког система у двије или више група које се посебно фитују. У претходном прилогу смо видјели да је тај приступ први предложио В. Варићак (Игњатовић, 2014).

Панов на једном мјесту цитира постхумно дјело Митка Маринова Гогошева (1940-1997). Према Панову, ради се о представљању Сунчевог система на логаритамској спирали. Овај приступ видјели смо раније код Хегедушића. Наш сарадник А. Томић примјењује, у ранијем су планетарна растојања представљена као Фибоначијев низ $r_n = C\phi^n$, гдје је $\phi = 1,618$, да логаритамска спирала описује таласе густине који се појављују у теоријама настанка спиралних галаксија (Томић, 1998).

Бугарски геофизичар Петар Велинов (Петър Ђорданов Велинов) (р. 1941), дописни члан Бугарске академије наука, и његово мало познати сарадник Димитар Јусколов (Димитър Јусколов) објавили су 5 радова у којима се планетарна растојања изводе почевши од традиционалног закона (1), али се затим користи један интерполациони алгоритам помоћу којег се добија добро слагање са стварним растојањима (Велинов и Јусколов, 2009а,б,в, 2010а,б). Сваком систему пратилаца посвећен је посебан рад. Радови су остали непримијећени, дијелом сигурно и зато што се начин фитовања растојања у тим радовима не може схватити без извјесног познавања теорије интерполације.

Бугарски астроном Цветан Георгиев фитује Сунчев систем и системе великих планета експоненцијалним законом (2), који назива „Тицијус-Бодев-Дермотовим законом” (Георгиев, 2013). Он касније разматра и расподелу по масама и густинама (Георгиев, 2014, 2015). Ради се о познатој шеми „непопуњених” орбита, али су за Сунчев систем додати и недавно откривени објекти Ерида ($n = 11$) и Седна ($n = 12$). Георгиев у задњим радовима покушава да успостави корелацију између „параметра правилности” – уствари коефицијента c у релацији (2) – и масе централног тијела (Георгиев, 2016а,б).

Од необјављених прилога о емпиријским законима, можда најближе формалном објављивању су били радови Милуна Лимића (Димић 2010, 2011)¹. Димић, поред закона (2) са коефицијентом $e^{1/3} \approx 1,4$ за Сунчев систем и систем сателита Сатурна, разматра и правилност пречника планета. Постулирао је већи број непопуњених орбита, што није нова идеја. У рецензији из августа 2010, предложио сам редакцији *Васионе* да се рад не објави.

5. КОСМОГОНИЈСКИ ПРИСТУП

Са радовима бившег научног савјетника Института за физику у Земуну Илије С. Лакићевића долази на наш простор теорија америчког физичара Данијела Р. Велса о настанку Сунчевог система (Лакићевић, 1995, 1996, 1998). Велсова теорија претпоставља настанак Система у плазменим вртложним структурама (Велс, 1986). Полазећи од магнетохидродинамичких једначина, из услова минималности слободне енергије за магнетно поље се добија услов $\text{rot } \vec{B} = \alpha \vec{B}$, тј. да је тзв. Белтрамијево поље. Из тог услова добија се

$$\Delta \vec{B} + \alpha^2 \vec{B} = 0. \quad (7)$$

Рјешавање једначине (7) у цилиндричним координатама даје за радијални дио функцију $J_1(kr)/kr$, гдје је $J_1(kr)$ Беселова функција реда 1. Планетарна растојања била би пакле, равномјерно распоређена јер асимптотски имамо $J_1(kr) \sim \sin(kr)/\sqrt{kr}$, а планете би морале бити формиране близу максимума. Наравно да таква расподјела средњих растојања није у складу са посматрањима. Постулирањем Мјесеца између Земље и Марса, као и више астероидних појаса, још се и може фитовати унутрашњи систем, али спољашњи не.

Лакићевић се није упуштао у ревизију Велсове теорије, па су његова саопштења остала на нивоу једног концизног тумачења те теорије. Сматрао је да Велсова теорија представља прво научно објашњење закона планетарних растојања, што наравно није тачно. Закон који планетарна растојања повезује са нулама Беселових функција први је из космогонијских разматрања извео румунски математичар Виктор Н. Валковиси (1885-1970) (Vâlcovici, 1964)².

Аутор овог прилога покушао је да уопшти приступ Гране и Дибрил (Игњатовић, 2003). Наиме, у раду Гране и Дибрил (1994) претпоставља се да у развоју рјешења неког генеричког модела формирања Сунчевог система доминира мод са једним таласним вектором, одакле се и добија експоненцијални облик Тицијус-Бодеевог закона. Ако, међутим, претпоставимо да постоји још један мод, чак и знатно мање амплитуде, добићемо да се максимуми рјешења – добијеног суперпозицијом та два мода – налазе на удаљеностима које дају експоненцијални облик Тицијус-Бодеевог закона модификован пери-

¹ Часопис *Кроз простор-време* је изашао у 4 броја, да би се наставио као блог-архив.

² Иако рођен на истоку Румуније, Валковиси је дуго предавао у Темишвару; могуће је да му презиме потиче од много чешћег словенског презимена *Валковић*.

одичном поправком. Нажалост, максимуми нису тако изражени да би се оваква теорија могла сматрати плаузибилном.

У два каснија рада, критиковао сам рад Баржа и Сомерие посвећен њиховој реинкарнацији теорије формирања планета у гасним вртлозима (Барж и Сомериа, 1995). Они су, наимае, тврдили да је расподјела вртлога у складу са законом (2). Показао сам да то није тачно ако се узму параметри протопланетарне маглине који су у складу са савременом космогонијом јер се добија далеко бржи раст растојања него по закону (2) (Игњатовић, 2004, 2009).

Група теоријских физичара са Института за физику у Земуну: Александар Богојевић, Александар Белић и Антун Балаж се дуго времена интересовала за поријекло Сунчевог система, нарочито рачунарске симулације акреције планетезимала. У једном од радова (Богојевић и др., 2006) растојања планета добијена нумеричким симулацијама фитована су помоћу параболичког закона (3), наравно с различитим константама за унутрашњи и спољашњи систем.

6. КВАНТОВАЊЕ ОРБИТА

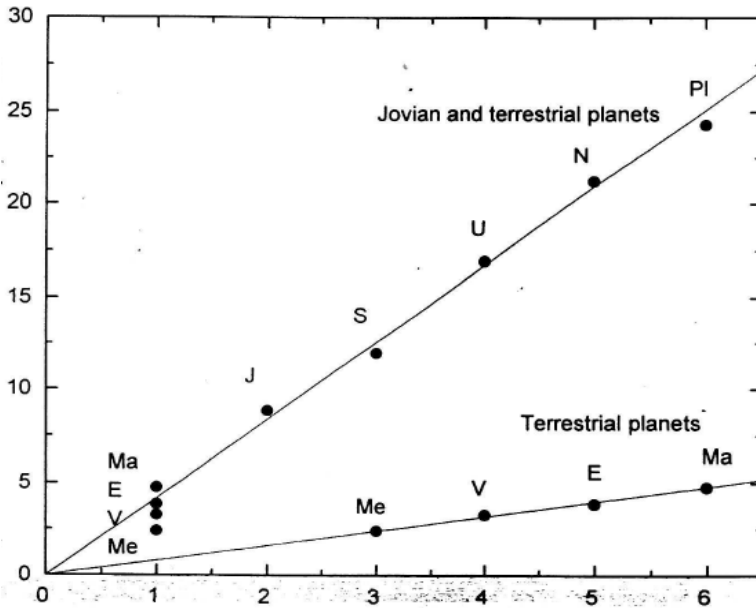
Бугарски математичар и физичар Владимир Николов Дамгов (1947-2006) и руски научник Данил Борисович Дубошинский (р. 1941) су 1992 поставили једну доста оригиналну теорију структуре Сунчевог система. Као модел се претпоставља систем хармонијских осцилатора и добија се закон (5). Због асимптотике Беселових функција, тај закон се своди на линеарни закон (4) за веће n и, наравно, не може дати добро слагање са стварним растојањима. Аутори зато претпостављају да су само неки мултиплицитети фреквенција заиста присутни у систему, иако не дају неко правило избора.

Дамгов ће касније објавити још неколико радова на ту тему (Дамгов и др, 2003; Дамгов, 2004; Дамгов и др, 2005). Теорија Дамгова и Дубошинског се прије може сматрати динамичким објашњењем дискретне структуре Сунчевог система него квантовањем орбита. У том смислу, ближа је познатој теорији Молчанова (Молчанов, 1968) него осталим овдје изложеним теоријама.

Физичари Антун Рубчић (р. 1938) и Јасна Батурић-Рубчић (р. 1934) су, почевши од 1995 године, објавили неколико радова посвећених закону (3) (Рубчић и Рубчић, 1995а,б). Новина у њиховом раду је да се, осим неких непопуњених орбита, појављују и случајеви када више од једног објекта припада истој орбити. Нпр. спољашњи Сунчев систем је уклопљен у закон (3) са једним параметром тако што се све унутрашње планете узимају као једна (сл. 2). На сличан начин су разматрани и системи сателита великих планета.

За разлику од многих сличних прилога у свјетској литератури, Рубчићи су дали доста детаљан преглед проблема закона планетарних растојања (Рубчић и Рубчић, 1995б). Између осталих, помињу и теорију Ј. К. Гулака у којој се изводи закон (4) – сам закон је емпиријски неодржив, али ради се о вјероватно првом озбиљнијем покушају макроквантизације планетарних система.

Карактеристично за приступ Рубчића је и да се остављају двије могућности тумачења дискретизације, односно квантовања, планетарних растојања: 1) да потиче од неког дубљег физичког принципа – то тумачење овдје називамо макроквантизацијом, 2) да потиче од неких услова повезаних са настанком система – што овдје називамо космогонијским приступом. Они, међутим, не покушавају да *изведу* закон из космогонијске теорије; њихов приступ се може сматрати прелазним између емпиријског приступа и квантовања орбита.



Слика 2: Графикон коријена из зависности (3). Горња права одговара спољашњем, а доња унутрашњем Сунчевом систему (Рубчић и Рубчић, 1995б).

У једном од каснијих радова, фитован је систем око пулсара PSR1257+12, а постулирана је још једна планета (Рубчић и Рубчић, 1996а). Успостављена је корелација између параметра r_1 у (3) и масе централног тијела. Међутим, ако би таква корелација постојала у вансоларним системима, планете би се очекивале на још већим растојањима него у Сунчевом систему, што је супротно у односу на системе откривене убрзо по објављивању овог рада. Сљедећи рад (Рубчић и Рубчић, 1998) је више одговор на неке друге радове посвећене квантовању орбита него што садржи нове елементе.

Након дуже паузе, прво је објављен рад у вези са идејом да је Мјесец формиран као посебна планета на једној од сада непопуњених орбита предвиђених законом (3) (Рубчић и Рубчић, 2009а,б). Коначно, поново су размотрени вансоларни системи (Рубчић и Рубчић, 2010, 2011).

Иако цитирани неколико пута, углавном у прилозима о квантовању орбита, радови Рубчића нису били запажени. Осим као оригинални радови у

загребачкој *Физици*, неки од њих објављени су и у зборницима репринта које је уредио амерички научник румунског поријекла Флорентин Смарандаће (но прилози у тим зборницима су углавном далеко ван главне струје науке).

Несумњиво најдужи интерес, који датира још од рада француског астрофизичара Рејмона Луиза (Луиз, 1982), за квантовање орбита у нашем региону има Александар С. Томић. О закону (3), у којем се огледа аналогија са Боровим атомом, он је прво написао краћи прилог у *Васиони* (Томић, 1997).

Рад на свом приступу квантовању орбита у Сунчевом систему Томић почиње 1999, а комплетну теорију имао је нешто касније (Томић, 2001). Аутор прво примјеђује да се у Сунчевом систему – за разлику од Боровог модела атома – квантује *специфични* момент импулса, тј. да се у аналогiji између гравитационе и електричне силе мора појавити однос e/m за електрон. Затим полемише са примједбом П. Грујића (Грујић, 1993) да нема много смисла говорити о аналогiji између атома и Сунчевог система јер је деброљевска таласна дужина електрона у основном стању атома водоника далеко већа од радијуса протона, тј. електрон не „види” протон као честицу.

Томић примјеђује контраст између закона (2), који се добро слаже са стварним растојањима, и закона (3), који даје непосредну аналогiju са Боровим атомом али се слабо слаже са стварним растојањима. Традиционално, проблем са законом (3) рјешавао се подјелом система на двије групе са различитим параметром. Томић покушава да остане при једном фундаменталном правилу квантовања (3), али дијели систем на три групе код којих постоји различит корак којим се прескачу непопуњене орбите, што је са феноменолошког становишта еквивалентно увођењу различитих параметара и рестартовању рачунања броја n . Такође износи интересантну хипотезу да се најниже орбите могу налазити дубоко унутар централног тијела.

У раду је детаљно анализирана Луизова теорија, која је прва теорија квантовања орбита заснована на закону (2). Од теорија које, по аналогiji са Боровим атомом, квантују орбите према закону (3), Томић цитира само Санфорда из 1921 јер у то вријеме није знао да је таквих покушаја било и раније.

У вези са међусобним односом закона (2), (3) и (4), Томић примјеђује да се закон (3) за велико n ефективно приближава закону (4): $(n+1)^2 - n^2 = 2n+1 \ll n^2$, тј. растојање између сусједних планета релативно споро расте са n . Међутим, тврдња да се закон (3) може некако ускладити са законом (2) није тачна; иако количник растојања сусједних планета према закону (3) заиста конвергира ка константи, та константа може бити једнака само 1!

Интересантна идеја А. Томића је и увођење „квантног дефекта” Δ_n у (3):

$$\bar{r}_n = r_1 (n + \Delta_n)^2,$$

гдје су \bar{r}_n стварна растојања. Тражена је и корелација између Δ_n и ексцентрицитета орбите и нађено да Δ_n опада са растом ексцентрицитета.

На крају је закон (3) примијењен и на системе сателита Јупитера, Сатурна и Урана. Рад је, уз неколико коментара, објављен у цјелости тек много касније (Томић, 2012). У међувремену, аутор је објавио неколико радова са

мање или више истим идејама, иако понекад у нешто различитом контексту (Томић, 2002, 2004, 2005, 2008а,б, 2009).

Постоје и два необјављена, али у бази ArXiv дуго присутна, рада о квантовању орбита (Панковић и Радаковић, 2009, Панковић и др., 2009). Од многобројних су радова Владана Панковића, професора физике на Гимназији Инђија, и сарадника у алтернативном (нетрадиционалном) приступу физици. У радовима се постулира квантовање специфичног момента импулса према

$$\frac{J_n - J_{n-1}}{J_n} = \text{const},$$

што има за последицу квантовање према закону (2), као у Луизовој теорији.

7. КРАТАК ПРЕГЛЕД ОСТАЛИХ РЕФЕРЕНЦИ И ДИСКУСИЈА

Нису сви прилози на тему планетарних растојања на Словенском Југу могли бити сврстани у оригиналне научне радове, нити су сви били доступни, али неке од њих наводимо овдје. У трактату српског филозофа и књижевника Душана Стошића (р. 1929) о пресликавању физичких теорија помиње се и закон (2) (Стошић, 2005). Пресликавања заснована на формалним сличностима између различитих теорија доста су изучавана почетком XX вијека.

Нису ми била доступна два кратка – вјероватно популарна – прилога: словеначког физичара и популаризатора физике Јанеза Стрнада (1934-2015) (Стрнад, 1994) и бугарског астронома Васиља Умленског (Умленски, 2005). Инжењер Вујо В. Гордић (р. 1937) прави аналогију између закона (2) и неких потпуно различитих појава, односно њихових модела (Гордић, 1991). Био је инспирисан Гамовљевом популаризацијом Вајзекерове космогоније.

Прецизну статистику радова из овог подручја је тешко направити јер се референце на различитим језицима и различитог карактера, наравно, не могу наћи у једнаким процентима. Дакле, референце настале на Словенском Југу сигурно сам налазио у већем проценту него остале, али могу процијенити да је око 6% цијелокупне свјетске литературе на ту тему у периоду 1992-2012 настало управо у бившој СФРЈ (углавном Србији и Хрватској) и Бугарској. Тај проценат је бар 3 пута већи од удјела тих земаља у свјетској научној литератури, у јаком контрасту са врло малим бројем до 1991. Нажалост, само двије од близу 50 референци објављене су у међународно признатим часописима!

8. ЗАКЉУЧЦИ

Након дугог периода неактивности, у региону Словенског Југа појављује се велики интерес за законе планетарних растојања 1992. Према приступу, прилози се дијеле у 3 групе: емпиријске законитости, космогонијске теорије и квантовање орбита. Закони се изражавају у облику једне од 5 формула.

Прије 1992 је објављен емпиријски закон Л. Бабића у којем се константан члан у традиционалном облику Тицијус-Боденовог закона (ТБЗ) повезује са Рошовом границом. Емпиријским законитостима бавили су се касније

Бугари К. Панов, П. Велинов и Ц. Георгиев. Необичан је приступ Велинова, који покушава да оправда изузетке у традиционалном облику ТБЗ.

Космогонијски приступ у региону углавном се ограничава на тумачења, генерализације или критику постојећих космогонијских теорија. Једна група физичара фитовала је резултате добијене симулацијама акреције планете-зимала помоћу једног закона планетарних растојања.

Квантовање орбита је био популаран приступ до прије неколико година, али свака група аутора имала је сопствени приступ. Основни проблем у овом приступу је да се експоненцијални ТБЗ – који се доста добро слаже са стварним растојањима, теже изводи из принципа квантизације, док се закон аналоган Боровом моделу атома добија непосредном аналогijом, али даје слабо слагање. Рубчић и Рубчић, а с друге стране А. Томић, покушали су да се приближе том проблему на различите начине.

Теорија Дамгова и Дубошинског у суштини припада четвртном, динамичком приступу, који је раније углавном заступао А. М. Молчанов. Ради се о једној верзији хипотезе о резонантној структури Сунчевог система.

Иако од 1992 прилози из региона чине значајан дио укупне свјетске литературе на ову тему, скоро да их нема у међународно признатој литератури.

Захвалница

Захваљујем се А. Томићу за његове радове настале до 2001.

Литература

- Babić Ladislav: 1986, "O nizovima pratilaca u Sunčevom sistemu", *Visiona* XXXIV, 22-28.
- Babić Ladislav: 2000, "Satelitska etiketa – nizovi pratilaca", http://ladislav-babic.from.hr/papers/download_en/.
- Barge P., Sommeria J.: 1995, *Astronomy and Astrophysics* **295**, L1-4.
- Bogojević Aleksandar, Balaž Antun, Belić Aleksandar: 2006, "Spacing of planets in an effective gravitational accretion model", *Publ. Astron. Obs. Belgrade* **80**, 149-153. [abstract in *Book of Abstracts. 14th National Conference of Astronomers*, Belgrade, October 12-15, 2005 (Astronomical Observatory of Belgrade, [2005]), p. 18]
- Charlier C. V. L.: 1913, "Das Bodesche Gesetz und die sogenannten intramercuriellen Planeten", *Astron. Nachr.* **193**, cols. 269-272.
- Damgov V. N., Douboshinsky D. B.: 1992a, "On the wave nature and dynamical quantization (in the large) of the solar system planet and satellite arrangement", *Dokl. Bulg. Akad. Nauk (Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci.)* **45** (2), 27-30.
- Damgov V. N., Douboshinsky D. B.: 1992b, "The wave nature and dynamical quantization of the solar system", *Earth Moon Planets* **56**, 233-242.
- Damgov Vladimir, Trenchev Plamen, Sheiretsky Kostadin: 2003, "Oscillator-wave" model: properties and heuristic instances", *Chaos Soliton. Fract.* **17**, 41-60, Sec. 4 (pp. 48-53).
- Damgov Vladimir: 2004, *Nonlinear and Parametric Phenomena*, World Scientific, Singapore, Subsec. 10.4.3. (pp. 483-491).

- Damgov Vladimir, Erokhin Nikolay, Trenchev Plamen: 2005, "Class of inhomogeneously driven dynamical systems: general theory, regular and chaotic properties", in *Balkan Astronomical Meeting BAM 2004*, Rozhen, June 2004, *Aerospace Res. Bulg.* No. 20, 360-364, Sec. 5 (p. 362).
- Dimić Milun: 2010, "O poreklu brojeva, dimenzijama planeta i granicama prostora" *Kroz prostor-vreme* br. 8 (www.kps.rs) [блог-архив; рад се не налази у архиви часописа].
- Dimić Milun: 2011, "Rotaciono harmonijsko oscilovanje", *Kroz prostor-vreme* br. 10 (kpv.rs).
- Dittrich Arnošt: 1920, "Zákon Bodeův v soustavě Jupiterově", *Říše hvězd* **1**, 3-4.
- Георгиев Цв.: 2013, "Правилото на Тициус-Боден-Дърмот в Слънчевата система", у *Пета годишна международна конференция "Екологизација 2013"*, Р. С. Гјуров, Б. В. Костова и Р. М. Берберова (Нов бугарски универзитет, Софија, 2014), pp. III-2-7-13. [CD-ROM]
- Georgiev Tsvetan: 2014, "Distributions of the Solar System bodies by masses, densities and orbits", in *Proc. Ninth Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Safety" SES 2013*, November 20-22, 2013, edited by Garo Mardirossian, Tsveta Srebrova and Georgi Jelev (M. Drinov, Sofia, 2014), pp. 79-85.
- Георгиев Цветан Б.: 2015, "Дијаграми на основни зависимости в Слънчевата система. Двете групи големи планети", *Publ. Astron. Soc. Bulg.* **1**, 13-25, пар. 1 (стр. 14-16).
- Georgiev Tsvetan: 2016a, "Корелација меѓу масата на централното тяло и орбитната регуларност в Слънчевата система", in *Proc. Eleventh Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Safety" SES 2015*, November 4-6, 2015, edited by Garo Mardirossian, Tsveta Srebrova and Georgi Jelev (Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, 2016), pp. 61-66.
- Georgiev Tsvetan B.: 2016b, "Titius-Bode law in the Solar System. Dependence of the regularity parameter on the central body mass", *Bulg. Astron. J.* **25**, 3-18.
- Gordić Vujo V.: 1991, *Energija orbitalnih sistema*, Naučna knjiga, Beograd, Deo drugi, gl. 4 (str. 107-114).
- Graner F., Dubrulle B.: 1994, "Titius-Bode laws in the solar system. I. Scale invariance explains everything", *Astron. Astrophys.* **282**, 262-268.
- Grujić P. V.: 1993, "Newtonian and coulombic systems", *Bull. Astron. Belgrade* No. 147, 15-29. [нарочито стр. 20-21]
- Heath Thomas: 1913, *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus*, Clarendon, Oxford, 1913, Sec. "Harmony of distances" (pp. 105-115).
- Hegedušić Mladen: 1931, *Das wesen der Materiestrahlung*, Astra, Zagreb, pp. 61-74.
- Ignjatović S. R.: 2003, "Modified Titius-Bode law from a generic model of the Solar System formation", in *Proc. Fifth General Conference of the Balkan Physical Union*, CD-ROM, Vrnjačka Banja, August 25-29, 2003, edited by S. Jokić, I. Milošević, A. Balaž and Z. Nikolić (Serbian Physical Society, Belgrade, 2003), pp. 203-206. [апстракт: *Book of Abstracts*, p. 40]
- Ignjatović S. R.: 2004, "Formiranje planeta u gasnim vrtlozima i planetarna rastojanja", u *Zborniku radova sa (XI) kongresa fizičara Srbije i Crne Gore*, CD-ROM, Petrovac na Moru, 3-5. juna 2004, urednici N. Konjević, B. Vujičić and P. Miranović (Društvo matematičara i fizičara Crne Gore, Podgorica, 2004), str. 7-30-7-33.
- Ignjatović S. R.: 2009, "Formation of planets in gaseous vortices and the law of planetary distances", *Publ. astron. Obs. Belgrade* **86**, 323-329. [апстракт: *Book of Abstracts. XV National Conference of Astronomers of Serbia*, Belgrade, October 2-5, 2008 (Faculty of Mathematics, Department of Astronomy, Belgrade, 2008), p. 70]

- Игњатовић Синиша Р.: 2010, “Експоненцијални облик Тицијус-Бодеевог закона”, у зб. *Прилози историји и епистемологији науке*, уредници Б. Драговић и М. Ивановић, Институт за криминолошка и социолошка истраживања, Београд, 87-116.
- Игњатовић Синиша Р.: 2014, “Закони планетарних растојања на Словенском Југу”, у зб. *Развој астрономије код Срба VII*, Београд, 18-22. априла 2012, уредник М. С. Димитријевић, *Публикације Астрономског друштва “Руђер Бошковић”* No. 13, 525-538.
- Lakićević Ilija S.: 1995, “O nastanku sunčevog sistema”, у *Zborniku radova 9. kongresa fizičara Jugoslavije*, Petrovac na moru, May 29-31, 1995 (Društvo matematičara i fizičara Crne Gore i Društvo fizičara Srbije, [s. l.], 1995), str. 417-420.
- Lakićević I. S.: 1996, “The role of the plasma force-free vortex structures in the solar system formation”, in *18th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG) – Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures and Progress Reports*, Kotor, September 2-6, 1996, edited by B. Vujičić and S. Đurović (Institute of Physics, University of Novi Sad, Novi Sad, 1996), pp. 532-535.
- Lakićević Ilija S.: 1998, “Solar system formation from the plasma force-free vortex structures”, in *Proc. XLII Conference. ETRAN*, vol. IV, Vrnjačka Banja, June 2-5, 1998, edited by M. Smiljanić et al. (Society for Electronics, Telecommunication, Computers, Automation, and Nuclear Engineering, Belgrade, 1998), pp. 233-236. [незнатно измењена верзија претходне референце]
- Molchanov A. M.: 1968, “On the resonance structure of the solar system. The law of planetary distances”, *Icarus* **8**, 203-215.
- Neuhäuser R., Feitzinger J. V.: 1986, “A generalized distance formula for planetary and satellite systems”, *Astron. Astrophys.* **170**, 174-178.
- Nieto Michael Martin: 1972, *The Titius-Bode Law of Planetary Distances: its History and Theory*, Pergamon, Oxford.
- Panković Vladan, Rade Glavatović, Marko Mandić, Vojislav Božić – Sremac: 2009, “A De Broglie-like wave in the planetary systems”, arXiv: 0903.1729v1 [physics.gen-ph]
- Panković Vladan, Aleksandar-Meda Radaković: 2009, “A close correlation between third Kepler law and Titius-Bode rule”, arXiv: 0903.1732v1 [physics.gen-ph]
- Panov Kiril: 2009a, “The law of orbital distances in the Solar System”, *Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci.* **62**, 143-152.
- Panov K. P.: 2009b, “The orbital distances law in planetary systems”, *Open Astron. J.* **2**, 90-94.
- Rubčić Antun, Baturić-Rubčić Jasna: 1995a, “Pravilnosti orbitalnih polumjera planeta i glavnih satelita”, у *Prilozi razvoju hrvatskog programa fizike, Drugi hrvatski Simpozij o nastavi fizike*, Zagreb, 29.6.-1.7. 1995, уредници R. Krsnik i P. Pečina (Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb, 1995), str. 166-180.
- Rubčić Antun, Rubčić Jasna: 1995b, “Stability of gravitationally bound many-body systems” [sa hrvatskim apstraktom], *Fizika* **B4**, 11-28.
- Rubčić Antun, Rubčić Jasna: 1996a, “Planetary orbits in the single star systems” [sa hrvatskim apstraktom], *ibid.* **B5**, 85-92.
- Rubčić A. and J.: 1996b, “Bohr’s quantization: the fourth Kepler’s law?”, in *EPS 10 Trends in Physics. Abstracts of Contributed Papers, 10th General Conference of European Physical Society*, Seville, September 9-13, 1996, p. 162.
- Rubčić A. and J.: 1998, “The quantization of the solar-like gravitational systems” [sa hrvatskim apstraktom], *Fizika* **B7**, 1-14 (1998).

- Rubčić Antun, Baturić-Rubčić Jasna: 2009a, "Porijeklo Mjeseca", u *Interaktivna nastava fizike, Deveti hrvatski Simpozij o nastavi fizike*, Primošten, 16-18. 4. 2009, urednik P. Pećina (Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb, 2009), pp. 44-50.
- Rubčić Antun and Jasna Rubčić: 2009b, "Where the Moon was born?" [sa hrvatskim apstraktom], *Fizika* **A18**, 185-192.
- Rubčić Antun and Jasna Rubčić: 2010, "Planetary orbits in solar and extrasolar systems" [sa hrvatskim apstraktom], *Fizika* **A19**, 133-144 (2010).
- Rubčić Antun, Baturić-Rubčić Jasna: 2011, "Putanje planeta u sunčevom i izvansunčevim sustavima", u *Nastava fizike – postignuća i izazovi, Deseti hrvatski Simpozij o nastavi fizike*, Zadar, 27-29. 4. 2011, urednik P. Pećina (Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb, 2011), str. 190-194.
- Stošić Dušan: 2005, "Koeficijenti srazmernosti kao osnov preslikavanja fizičkih teorija", *Unus Mundus* No. 15-16-17-18, 609-891, § "Ticijus-Bodeova formula" (pp. 790-815).
- Strnad Janez: 1994, "Titius-Bodejeva enačba", *Proteus (Ljubljana)* **57**, 69-70.
- Thirion J.: 1900, *L'évolution de l'astronomie chez les grecs*, Louis Lagaert, Bruxelles, pp. 41-42.
- Tomić Aleksandar: 1993, "Zašto su planete tamo gde jesu?", *Vасиона* **XLI**, 37-40.
- Томић Александар: 1997, "Необична подударност у Тицијус-Бодевом закону", *Vасиона* **XLV**, 40.
- Tomić Aleksandar: 1998, "Planetna rastojanja kao zlatni presek", *Phlogiston* No. 7, 151-166 (1998); апстракт на енглеском: *ibid.* 167-168.
- Tomić Aleksandar: 2001, "Diskretizacija stanja u gravitacionim makrosistemima", Београд. [неодбрађена магистарска теза]
- Tomić Aleksandar, Koruga Đuro: 2002, "Solar system determined by golden mean law", in *Abstracts. XIII National Conference of Yugoslav Astronomers*, Belgrade, October 17-20, 2002, edited by R. Pavlović (Faculty of Mathematics, University of Belgrade, [2002]), p. 35.
- Tomić Aleksandar, Koruga Dj.: 2004, "Asteroid belt and dynamical arrangement of the Solar system to the neighbouring star and background radiation", in *Book of Abstracts. IAU Colloquium 197. Dynamics of Populations of Planetary Systems*, Belgrade, August 31-September 4, 2004 (Astronomical Observatory of Belgrade, [2004]), p. 72.
- Tomić Aleksandar: 2005, "Kepler's harmony of the Solar system", in *Proc. III Congress of Mathematicians of Macedonia*, Struga, September 29 – October 2, 2005, edited by Vesna Manova Erakovic (Union of Mathematicians of Macedonia, Skopje, 2005), *Matematski bilten. Special Issue* **29 (55)**, 569-576.
- Томић Александар С.: 2008а, "Квантизација Сунчевог система помоћу Фибоначијевих бројева", *Unus Mundus* No. 30, 41-50.
- Томић Александар С.: 2008б, "Кеплерова хармонија сфера и Платонова тела", *ibid.* No. 30, 51-59.
- Томић Александар С.: 2009, "Колатерална штета одбацивања метафизике – закон гравитације и квантизација", у зб. *Развој астрономије код Срба V*, Београд, 18-22 априла 2008, уредник М. С. Димитријевић, *Публикације Астрономског друштва "Руђер Бошковић"* No. 8, pp. 521-532, пар. "Извођење квантномеханичке дискретизације из астрономских података" (pp. 527-529).
- Томић Александар С.: 2012, "Сунчев систем. Космогонија", *Unus Mundus* No. 43, први део (стр. 7-106).
- Умленски Васил: 2005, "Правилото на Тициус-Бодe и планета "X"", *Астрон. Календ.* **52** (pro-2006), 97-99.

- Vălcovici Victor: 1964, “Origine du système planétaire du soleil”, *Stud. cerc. astron.* **9**, 175-195.
- Velinov Peter I. Y., Yuskolov Dimitar: 2009a, “Generalization of Titius-Bode rule for planets in the Solar System”, *Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci.* **62**, 783-790.
- Velinov Peter I. Y., Yuskolov Dimitar: 2009b, “Generalization of Titius-Bode rule for satellites in the system of Jupiter”, *ibid.* **62**, 1193-1202.
- Velinov Peter I. Y., Yuskolov Dimitar: 2009b, “Generalization of Titius-Bode rule for satellites in the system of Neptune”, *ibid.* **62**, 1353-1362.
- Velinov Peter I. Y., Yuskolov Dimitar: 2010a, “Application of generalized Titius-Bode law for satellites in the system of Uranus”, *ibid.* **63**, 471-480.
- Velinov Peter I. Y., Yuskolov Dimitar: 2010b, “Generalized Titius-Bode law applied to the Saturnian moons”, *ibid.* **63**, 633-644.
- Wells Daniel R.: 1986, “Titius-Bode and the helicity connection: A quantized field theory of protostar formation”, *IEEE Trans. Plasma Sci.* **PS-14**, 865-873.

PLANETARY DISTANCE LAWS ON THE SLAVIC SOUTH. PART II: RECENT DEVELOPMENT

A review of contributions on the planetary distance laws written in the South Slavic countries in the past 30 years or so is given. In the 1955-1985 period almost no interest existed for the topics in the region despite of a great worldwide interest (especially in the late 1960's and early 1970's); a great interest appears only in 1992. Since that time, the contributions to the topics published in the region make up a considerable part of the total world literature. Most contributions may be divided into 3 kinds according to the approach: empirical regularities, cosmogonical theories and quantization of orbits. The laws are usually expressed as one of the following 5 formulae: traditional and purely exponential Titius-Bode law, parabolic law analogous to Bohr's model of atom, linear law and the law based on zeros of Bessel functions. Many combinations of these 3 approaches and 5 formulae have been investigated in the contributions that have originated in the region. Very few of the contributions have been published in internationally recognized literature.

Key words: Solar System, planets, satellites, Titius-Bode law