

## ЗАКОНИ ПЛАНЕТАРНИХ РАСТОЈАЊА НА СЛОВЕНСКОМ ЈУГУ

СИНИША Р. ИГЊАТОВИЋ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2,  
78000 Бања Лука, Босна и Херцеговина  
E-mail: sinisha@teol.net*

<sup>2</sup>*Астрономско друштво “Руђер Бошковић”, Горњи град 16, 11000 Београд,  
Србија*

**Резиме.** Први закон планетарних растојања био је Тицијус-Бодеев закон (ТБЗ) из 1766. године. Рана историја ТБЗ је доста добро позната, али новија историја много слабије. Овдје разматрамо неколико заборављених прилога чији су аутори из јужнословенских земаља. Математичар В. Варићак објавио је 1925. рад у којем се даје експоненцијални ТБЗ са различитим коефицијентима за унутрашњи и спољашњи Сунчев систем, што је прво такво правило икада предложено. Посебну пажњу посветили смо физичару С. Мохоровичићу и његовом врло оригиналном закону планетарних растојања из 1938. Размотрена је вишедеценијска активност аматера М. Хегедушића у вези са ТБЗ. Бугарски астроном Н. Бонев је 1952. покушао посредно доказати да закон планетарних растојања мора зависити од маса планета. Укратко разматрамо и чланке Л. Вагаје и А. Бонова, који се односе на специјалне случајеве ТБЗ. Закључујемо да између аутора из региона у правилу није било међусобног утицаја, да су многи прилози потпуно заборављени и да су у периоду 1925-1955. углавном праћени свјетски трендови.

### 1. УВОД

Претеча закона планетарних растојања је Кеплерова шема уписаних правилних геометријских тијела из 1595. године. Први закон у облику аритметичког правила дао је Тицијус 1766. године, али је дуго називан Бодеевим законом јер је био познат углавном из Бодееве популарне књиге, гдје се појавио 1772. године (Нието, 1972). Тицијус-Бодеев закон (ТБЗ) за растојања планета (у астрономским јединицама) гласи

$$r_n = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n, \quad n = -\infty, 0, 1, \dots \quad (1)$$

Рана историја ТБЗ је добро позната захваљујући радовима М. М. Ниета (Нието 1972, 1985) и С. Л. Јакија (Јаки, 1972а, б). Ниетова монографија се често сматра исцрпном референцом о ТБЗ – и уопште о законима планетарних растојања, али је уствари врло некомплетна. Посебно је средњи период развоја овог закона – приближно од 1843. до 1943. године – слабо покривен; занемарени су чак и доприноси заступљени у стандардној библиографској литератури. Неке од тих доприноса поменуо сам раније (Игњатовић 2003, 2010), али њихов број и разноврсност су такви да сам се ограничио на критички преглед литературе, без конзистентније историјске анализе.

Алгебарски, ТБЗ се може написати у облику

$$r_n = a + b \cdot c^n, \quad (2)$$

гдје су  $a$ ,  $b$ ,  $c$  константе, које не морају бити фиксирани на своје вриједности у традиционалном облику (1). На прелазу из 19. у 20. вијек закон (2) све је више уступао мјесто једноставном експоненцијалном закону без константног члана  $a$ , као и неким његовим уопштењима (Игњатовић, 2010).

У астрономским круговима већ скоро 40 година преовлађује негативан однос према законима планетарних растојања. Постоје, међутим, велике регионалне разлике, нпр. амерички часопис *Icarus* је давно објавио да не прима прилоге на ту тему (осим изузетно), док британске *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* доста често објављују такве прилоге.

Знајући за значајне недостатке у свјетској секундарној литератури о законима планетарних растојања, откривање неколико заборављених радова објављених у нашем региону није неочекивано. Видјећемо да је само око половине разматраних радова познато ван граница региона, а неки су и код нас занемарени и одавно заборављени.

## 2. БОДЕОВ ЗАКОН У 19. ВИЈЕКУ

Знатан број књига из космографије и популарне астрономије објављен је на јужнословенском језичком простору у другој половини 19. вијека. Осим тога, у часописима општег карактера повремено су објављивани и научно-популарни чланци. Зато је тешко утврдити гдје је први пута поменут Бодеев закон. Овдје наводимо широко доступну књигу Отона Кучере (1857-1931) *Наше небо*, која је доживјела три издања, као и репринт 1995. (Кучера, 1895).

Бодеев закон се помиње у два необјављена рукописа предавања: Ђуре Пилара на Свеучилишту у Загребу и Милана Недељковића на Великој школи у Београду, оба из 1886/87. школске године. Ђуро Пилар (1846-1893) је био хрватски геолог (дјелимично чешког поријекла), који је студирао у Белгији. У тротомном рукопису Пилар даје релативно детаљан приказ Сунчевог система, који укључује и Бодеев закон (Рандић, 1994). Недељковић даје ТБЗ у историјском контексту открића планетоида (Јанковић, 1988). Студенти су се, дакле, могли упознати са ТБЗ и без консултовања страних уџбеника.

### 3. ПРВИ ОРИГИНАЛНИ РАДОВИ О ЗАКОНИМА ПЛАНЕТАРНИХ РАСТОЈАЊА НА НАШЕМ ПРОСТОРУ

Ђорђе Станојевић (1858-1921), астрофизичар, професор физике и ректор Универзитета у Београду, био је доста дуго скоро заборављен. Тек 1970-тих година налазимо нешто више о њему и његовом раду код покојног историчара науке Драгана Трифуновића, и то у почетку углавном у вези са Николом Теслом. У једном од тих радова, Трифуновић (1978) наводи да је Станојевић предложио свој закон планетарних растојања 1906. године. У новије вријеме писано је доста о Ђорђу Станојевићу; чак је 2008. године организован и симпозијум.

У гл. VII своје књиге, објављене упоредо на српском и француском (Станојевић, 1906), Ђ. Станојевић не даје алгебарску формулу за планетарна растојања него бројеве изражене као електростатички потенцијал планета у односу на Сунце (сл. 1)! Правило је да такви потенцијали за унутрашњи Сунчев систем чине аритметичку, а за спољашњи геометријску прогресију – са изузетком Меркура и донекле Нептуна.

#### VII Планетско поље.

Ђајдре ћемо претпоставити, да су планетске путање нашега сунчевог система кружне и да се у њихову заједничком средњитију налазе. Цео би сунчани систем онда представљао једно јединополюно, у коме су планетске путање еквипотенцијалне линије. Радијуси би били би линије сила тога поља.

На основу тога трезнио распоред планета у погледу потенцијала, им речима, пошто су вредња одстојања планета од сунца позната, : потенцијалима одговарају путање разних планета?

Претпоставићемо да се на сунцу налази једна електростатичка јединица електрицитета. Средња одстојања планета од сунца ова су:

Меркур . . . . .	0.4 ( 0.387)
Венера . . . . .	0.7 ( 0.723)
Земља . . . . .	1.0 ( 1.000)
Марс . . . . .	1.5 ( 1.524)
Планетонди . . . . .	3.0
Јупитер . . . . .	5.0 ( 5.203)
Сатурно . . . . .	9.5 ( 9.539)
Уран . . . . .	19.0 (19.183)
Нептун . . . . .	30.0 (30.055)

Треба да нађемо колики је потенцијал разних планета изражен ва, кад се зна да је електростатичка јединица равна 300 волата, јачини долазимо приближно до ових вредности:

Меркур . . . . .	750 волата
Венера . . . . .	400 "
Земља . . . . .	300 "
Марс . . . . .	200 "
Планетонди . . . . .	100 "
Јупитер . . . . .	60 "
Сатурно . . . . .	30 "
Уран . . . . .	15 "
Нептун . . . . .	10 "

Слика 1. Стр. 84 из књиге Ђорђа Станојевића.

Могуће је да је Станојевић био инспирисан теоријом чешког физичара Карела Вацлава Зенгера (1830-1908), по којој је узрок кретања планета електростатичка сила којом на њих дјелује Сунце, али код Станојевића се ради о *аналогији* а не о очигледно нетачној хипотези као код Зенгера. Зенгер је углавном објављивао на француском, уз неколико референци на другим језицима. Зенгеров закон планетарних растојања био је такође врло дубиозан:  $r_n = c \cdot n$ , што је изискивало посебне претпоставке при избору  $n$  за “попуњене” орбите (Зенгер, 1899).

Крајем 19. вијека у Француској је много писано о законима планетарних растојања; *Comptes Rendus de l'Academie des sciences* и *Bulletin de la Société astronomique de France* били су пуни чланака и наслова различитих прилога на ту тему. Станојевић и Недељковић су у то вријеме провели по неколико година у Француској. Међутим, Недељковић је шири приказ ТБЗ вјероватно нашао у књизи Р. Волфа коју је превео са њемачког (превод је изгубљен).

Први научни рад о законима планетарних растојања на нашим просторима објавио је Владимир Варићак (Варићак, 1925). Рад је прихваћен 23.1.1925. у ЈАЗУ, а био је праћен скраћеном француском верзијом. Идеја о подјели Сунчевог система на унутрашњи и спољашњи била је присутна одавно (нпр. у Станојевићевој књизи), и то не само у смислу закона планетарних растојања. Посебно, врло стари закон  $r_n = c \cdot n^2$  захтијева двије различите константе  $c$  за два дијела система. Варићак је први примјетио да се експоненцијални закон такође може формулисати са различитим константама за унутрашњи и спољашњи дио Система (сл. 2). Тиме би била знатно умањена привлачност алтернативних закона јер даје боље слагање са стварним планетарним растојањима, али рад је остао потпуно непримијећен. Разлог је дијелом у томе што Кучера у свом (подужем, али закашњелом) прегледу у *Astronomischer Jahresbericht* не помиње да се у раду даје и закон планетарних растојања (Кучера, 1929). Истина, раније је у *Jahrbuch für die Fortschritte der Mathematik* објављен Варићаков ауто-реферат о том раду, у којем се наводи да је логаритамски декремент растојања константан.

У раду се закон планетарних растојања не појављује експлицитно, а питање је да ли је уопште и био главна тема рада. Није ми познато да ли је Варићак још писао о планетарним растојањима, ни да ли је овај рад утицао на каснији развој ове теме на подручју бивше Југославије. По свему судећи, Варићак је био инспирисан једним чланком словачког астронома Арношта Дитриха (Дитрих, 1923б) о гравитацији и општој теорији релативности, у којем се помиње – помало ван контекста – и једно тумачење Бодеевог закона.

С обзиром да је биографија Владимира Варићака (1865-1942) позната, осврнућемо се само укратко на његов живот и дјело. Рођен је у Лици, завршио је Филозофски (тада Мудрословни) факултет у Загребу, гдје је и докторирао 1891. године из математике. Највише се бавио геометријом, а касније и математичким апаратом теорије релативности. Од 1899. до смрти је био на челу Математичког одјела Филозофског факултета у Загребу. Запамћен је и као гимназијски професор математике Милутина Миланковића.

ćemo, da je za manje distance podudaranje dosta dobro, no ubrzo nastaju velike razlike.

Neka je dužina graničnoga luka  $D$ , a pripadne tetive  $\Delta$ . Tetivi od 3, 30, 300, 3.000 ili 30.000  $km$  pripada granični luk, koji je veći za 30  $\mu\mu$ , 30  $\mu$ , 30  $mm$ , 30  $m$  ili 30  $km$ .

Apsolutna jedinica prostora Lobačevskoga, koji je uzet za osnovu interpretacije teorije relativnosti, jednaka je putu svjetlosti u jednoj sekundi, a to je 300.000  $km$ . Distanu  $D$  izraženu apsolutnim jedinicama predočit ćemo graničnim lukom dužine  $D$ . Označimo li sa  $\Delta$  tetivu, koja pripada tomu graničnom luku, onda postoji relacija

$$D = sh \Delta. \quad (1)$$

Čim je  $D$  nešto veće, može se uzeti

$$e^{\Delta} = 2 D, \quad (2)$$

ili

$$\Delta = \ln 2 D. \quad (3)$$

Primijenimo to na distance planeta od Sunca. Koordinatni početak uzet ćemo u središtu Sunca, a na apseisnu os nanosit ćemo distance  $\Delta$ . U tablici, koju navodim, neka  $d$  znači udaljenost planeta od Sunca; jedinica je udaljenost Zemlje od Sunca. „Vrijeme svjetlosti“ t. j. vrijeme, što ga svjetlost treba, da dođe od Sunca do Zemlje, iznosi 498,7 sekunda. Množeci  $d$  s tim brojem dobit ćemo distance  $D$ , izražene u apsolutnim jedinicama. Sa  $\Delta$  označena je tetiva, koja pripada graničnom luku od dužine  $D$ . Označimo li još sa  $n$  redni broj planeta, dobit ćemo ovakav pregled:

	$d_n$	$D_n$	$\Delta_n$	$\Delta'_n$
Merkur	0,39	193,05	5,955	6,0
Venera	0,72	360,72	6,581	6,5
Zemlja	1,00	498,7	6,901	7,0
Mars	1,52	759,86	7,326	7,5
Asteroidi	2,75	1371,43	7,916	8,0
Jupiter	5,20	2594,52	8,554	8,6
Saturno	9,55	4764,95	9,162	9,2
Uran	19,22	9584,25	9,861	9,8
Neptun	30,11	15015,64	10,309	10,4

Po tom pregledu razbiramo, da Asteroidi dijele planete u dvije grupe.

Uzmimo za Merkura, koji ima jako ekscentričnu stazu, kao srednju jezgru distance  $\Delta' = 6$ . To možemo učiniti, jer je ona u afelu  $\Delta_n = 6,144$ , a u perihelu  $\Delta_n = 5,726$ . Dodajući Merkurovoj jezgri distance postepeno 0,5, dobit ćemo distance za Veneru,

**Слика 2.** Друга страница Варићаковог рада: из задње колоне табеле видимо да се размак планета на логаритамској скали мијења након Астероида.

#### 4. РАДОВИ СТЕЈПАНА МОХОРОВИЧИЋА

Хрватски физичар Стејпан Моховровић (1890-1980) остао је запамћен углавном као први који је предвидио – 1934. године – постојање везаног стања електрона и позитрона, данас познатог као позитронијум (Пар, 1993). Моховровић је био син чувеног геофизичара Андрије (1857-1936), с којим је једно вријеме и сарађивао на геодинамици, те је у геофизици имао знатну репутацију. Био је врло контроверзан, највише због свог противљења теорији релативности. У кругу њемачких анти-релативиста дјеловао је још од задњег семестра свог студија, који је провео у Гетингену 1913. Одбранио је 23.7.1918. дисертацију из аерологије, засновану на раду у аустро-угарским метеоролошким станицама у рату, али никада није предавао на универзитету,

него на гимназији. На самом почетку каријере бавио се углавном математиком, касније претежно геофизиком, а тек много касније и астрономијом. Као своју академску припадност наводио је обично приватну “постају за козмичку физику”.

У кратком прилогу у *Astronomische Nachrichten*, Мохоровичић (1937) даје модификацију закона (2) за сателите Сатурна. Преглед рада дао је Ненад Јанковић у *Сатурну* (Јанковић, 1937). Такве законитости већ су биле добро познате, а једну од њих Мохоровичић и цитира, па рад није био запажен.

Мохоровичић (1938) у истом часопису објављује један много дужи и врло оригиналан рад. У Мохоровичићевом новом закону

$$r_n = a \mp a \cdot c^n \quad (3)$$

константа  $c$  је мања од 1. За унутрашњи систем узима се знак “-”, а за спољашњи знак “+”. Осим ове претпоставке, потребно је узети да у спољашњем систему редни бројеви објеката иду од већих ка мањим, формално од  $+\infty$  до  $-\infty$ . Основни проблем са законом (3) је да фитовање стварних растојања захтијева постулирање великог броја празнина. У неке од тих празнина Мохоровичић смјешта познате астероиде, односно групе астероида, или комете. Једну од група астероида које Мохоровичић наводи чини и “београдска” група откривена 1933-1934. на АОБ, са просјеком великих полуоса 1,705 А. Ј.

У оба своја рада, Мохоровичић цитира и неке референце на српском језику, нпр. *Небеску механику* Милутина Миланковића и *Годишњак нашег неба* (ГНН). Разлог је бар дјелимично у томе да је Мохоровичић покушавао да добије професорско мјесто на Универзитету у Београду. Миланковић му је чак и обећао мјесто, али је Мохоровичић објавио један анти-масонски чланак и био одбијен (Пар, 1993). У току II свјетског рата је, у покушају да добије мјесто на Свеучилишту у Загребу, написао њемачком Нобеловцу (и нацисти) Јоханесу Штарку писмо у којем се жали да су за њега врата затворена иако на Свеучилишту има расно и политички неподобних особа. Ни тада, због својих предратних пројугословенских ставова, није добио професорско мјесто, али му је то писмо потпуно затворило врата у посљератној Југославији. Његова преписка је нестала убрзо након смрти, а његови радови су истргнути из часописа у локалним библиотекама (Пар, 1993).

Интересантно је да академик ХАЗУ Владимир Пар наводи да је Стјепан Мохоровичић објавио 41 научни рад на свјетским језицима између 1914. и 1934., по чему је до средине 1960-тих година био најплоднији хрватски физичар (Пар, 1993, 1996). Истина је, међутим, да је Мохоровичић објавио бар 50 радова на свјетским језицима, не рачунајући неколико кратких прилога из посматрачке астрономије, између 1913. и 1939. године (затим још један популаран рад 1940. и један 1964.).

Приказ другог Мохоровичићевог рада дао је у *Сатурну* научник-аматер Петар Модрушан (Модрушан, 1939). Рад је у то вријеме био релативно добро запажен: В. Круг је писао о њему у популарном часопису *Sterne* на пуне двије странице (Круг, 1938), у реферативном часопису *Zentralblatt für*

*Geophysik, Meteorologie und Geodäsie* дат је шири приказ (Јунг, 1939), а цитиран је и у неким прегледним радовима о законима планетарних растојања (Силва, 1938; Мелшиор, 1947). Цитира га и холандски астроном Херко Грот 1939. Послије тога, рад је цитиран још пар пута, углавном у Чехословачкој; кориштен је нпр. у једној анализи система малих планета (Широки, 1948).



151

$\xi = |\xi|$  (5)

Dadurch wird unser Gesetz folgende einfache Form erhalten:

$D = \xi \pm \xi^{\alpha}$  (6)

oder

$D = \xi \cdot (1 \pm \alpha^{\xi})$  (6a)

Jedoch ist die Form (6) für die praktische Rechnung viel bequemer. Hier muß man betonen, daß für die nahen Planeten das negative Vorzeichen gültig ist, für die entfernteren Planeten muß man das positive Vorzeichen wählen. Da bis zu einer gewissen Entfernung zwischen Mars und Jupiter die Entfernungsintervalle immer kleiner und kleiner werden, so muß man für den Mars  $n = 3$  setzen, d. h. zwischen der Erde und Mars ist noch eine Bahn möglich, und wir werden bald sehen, daß diese Bahn auch besetzt ist. Weiter wissen wir, daß in dem Sonnensystem eine gewisse Symmetrie besteht, wie z. B. Venus-Erde, Uranus-Neptun, dann Mars-Jupiter (da sich zwischen ihnen die erwähnte Grenzentfernung für die Entfernungsintervalle befindet). Wir müssen deshalb auch für Jupiter  $n = 5$  einsetzen. Da für Jupiter  $D = 5,203$  ist, dagegen für Mars  $D = 1,523$ , so können wir diese Werte in (6) substituieren und wir erhalten somit folgende Bestimmungs-gleichungen:

$$\begin{cases} 5,203 = \xi + \xi^{\alpha} \\ 1,523 = \xi - \xi^{\alpha} \end{cases}$$
 (7)

und daraus folgt durch Summation:

$\xi = 3,363$  (8)

Durch Subtraktion der beiden Gleichungen (7) erhalten wir:

$2 \cdot \xi^{\alpha} = 3,680$  (9)

und daraus:

$\log \alpha = 0,64762 - 1$  (10)

oder:

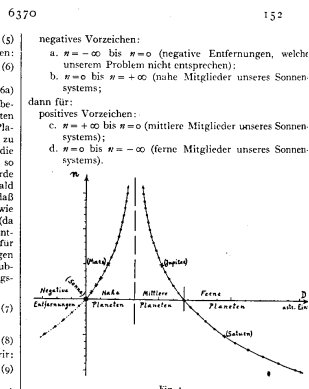
$\alpha = 0,88638$  (11)

Somit erhalten wir endlich folgendes Gesetz:

$D = 3,363 \pm 3,363 \cdot 0,88638^n$  (12)

welches wir sofort verifizieren werden, um zu zeigen, daß es wirklich alle Bedingungen 1.-11. befriedigt, und daß wir sehr genaue Werte für die Planetenentfernungen erhalten: werden, was bis jetzt nicht der Fall gewesen ist. Ebenso können wir aus (12) für  $n = \infty$  und für das negative Vorzeichen die erwähnte Grenzentfernung zwischen Mars und Jupiter erhalten; es folgt nämlich sofort  $D = \xi = 3,363$ . Wir sehen also, daß zwischen Mars  $n = +3$  und dieser Grenzentfernung  $n = +\infty$  einerseits, dann zwischen dieser Grenzentfernung  $n = +\infty$  und Jupiter  $n = +5$  andererseits, unendlich viele Bahnen möglich sind. Dies sind die Bahnen der Planetoiden, und wir werden bald sehen, daß diese Grenzentfernung eine natürliche Teilung des Planetoidenschwärmes ist.

3. Alle Mitglieder unseres Sonnensystems können wir in drei Gruppen teilen gemäß unserem Entfernungs-gesetz (12). Wir haben zuerst für:



Diese Verhältnisse sind in der Fig. 1 graphisch dargestellt, wo die Kurve eine Abhängigkeit zwischen  $n$  und  $D$  zeigt. Somit können wir aus (12) folgende drei Tabellen berechnen und mit den mittleren Entfernungen der einzelnen Mitglieder unseres Sonnensystems vergleichen:

Tabelle 1. b. Negatives Vorzeichen;  $n = 0$  bis  $n = -\infty$ .

Exp. rechner. n	Mitglied des Sonnensystems	Wahrh. Entf.	B - R	In % der golden. Entf.
0	Sonne ☉	0,000	0,000	0,0%
1	0,382   Merkur ☿	0,387	-0,005	1,2
2	0,721   Venus ♀	0,723	-0,002	0,3
3	1,021   Erde ☁ - Mond ☾	1,000	+0,021	2,1
4	1,287   Mars (1937 UB)	1,200	-0,087	6,2
5	1,523   Eros (433) Mars ☿	1,428	-0,095	6,3
6	1,739   Belgier-Gruppe (12 Planetoiden): 1933 OM, 1934 CI	1,523	0,000	0,0
7	1,917   Hungaria-Gruppe (12 Planetoiden): 1933 ON, 1934 CI	1,705	+0,027	1,5
8	2,082   Adherta-Gruppe (6 Planetoiden): 1939 OC, 1933 ON	1,939	-0,022	2,2
		2,110	-0,028	1,4

1) Zuerst von Mitgliedern der Belgrader Universitäts-Sternwarte berechnet, doch wurde die dienstliche Bedeutung dieser Planetoiden nicht anerkannt; vgl. *J. P. Mikolajewski (Mikolajewski): Elements d'orbites circulaires des petites planetes nouvelles*, *Boograd-Bulletin 2* Nr. 2-6 (1937). Besonders p. 26 und 30.

2) Davon vier Planetoiden von Mitgliedern der Belgrader Sternwarte berechnet (l. c.). — Wir sehen, daß der kleine Planetoid Hungaria ein ausgezeichnete Stellung im Sonnensystem einnimmt.

3) Davon sind zwei Planetoiden aus der Belgrader Sternwarte; berechnet (l. c.).

Слика 3. Стјепан Мохоровичић у аустро-угарској униформи током I свјетског рата и најважнија страница његовог рада из 1938.

Данас је потпуно заборављен рад С. Мохоровичића у Прилогу ГНН за 1940. (Мохоровичић, 1940). Тај рад није једноставан превод ауторовог рада из 1938.; на неким мјестима је нешто измијењен иако нема нових чињеница. Рад је вјероватно предат у првој половини 1939, али је ГНН каснио због почетка рата. Овог рада уопште нема у међународним библиографским изворима, чак ни у специјализованом реферативном годишњаку *Astronomischer Jahresbericht* (мада је ГНН за 1940. на списку реферисане литературе за ту годину). Имплицитно, Мохоровичићев рад помиње Б. Шеварлић у прегледу једног новијег рада из руског *Астрономическог журнала* (Шеварлић, 1948).

## 5. АМАТЕРИ

Из многих дијелова свијета стизали су у редакције популарних астрономских часописа, као што су *L'Astronomie* и *Popular Astronomy*, и часописа из општих природних наука (од којих је најпознатији британски *Nature*) с времена на вријеме радови посвећени законима планетарних растојања. Такође је један број радова штампан у облику памфлета или кратких књига. Аутори тих радова били су углавном аматери, мада су многи од њих уствари имали успјешну каријеру ван астрономије. Први такви радови објављени су половином 19. вијека, а посебно много их је објављено у годинама непосредно прије I свјетског рата, као и у међуратном раздобљу.

Нису ријетки примјери цјеложивотног интереса за законе планетарних растојања, како код аматера тако и код професионалаца. На нашим просторима, у ту групу спадао је инжењер Младен Хегедушић (1899-1995). Његов професионални рад био је везан за телефонију, био је активан у раду интелектуалног клуба "Астра" у међуратном периоду, те доцент Техничког факултета у Загребу од 1949. до 1961. Критикован је због ставова у науци, нарочито противљења теорији релативности, али и ултралијевиких гледишта.

Први Хегедушићев рад о Сунчевом систему појавио се неколико мјесеци након Варићаковог саопштења у ЈАЗУ (Хегедушић, 1925). У брошури се износи једна уствари врло стара идеја о спиралном карактеру Сунчевог система, заснована на чињеници да планете ако се замисле на логаритамској спирали задовољавају ТБЗ. Ту идеју Хегедушић је несумњиво преузео из поменутог Дитриховог (1923б) рада, објављену нешто раније и на њемачком (Дитрих, 1923а). Хегедушић дијели Сунчев систем на три дијела (три крака спирале), с тим да Меркур сматра одбјеглим сателитом Венере.

Хегедушић је након 1925. објавио још три књиге на њемачком језику, у издању клуба "Астра", прогресивно све дуже (Хегедушић, 1926, 1928). Прва књига била је једним дијелом превод рада из 1925., а друга је била и једина нешто запаженија – цитирана је пар пута (Сомер, 1928; Дитрих, 1929). Хегедушић је студирао у Прагу електротехнику 1918-1924. (Хегедушић, 1971, Муљевић, 2002), На његов интерес за ТБЗ утицао је и један опскуран Дитрихов рад из 1919, непознат ван Чехословачке. Посебно је опскурна књига из 1931, коју нисам успио да нађем. Све 4 књиге су реферисане у *Astronomischer Jahresbericht*, за разлику од неких других овдје цитираних радова. Како је Плутон био сасвим различит од транснептуњске планете коју је предвидио 1925, Хегедушић 1931. први у свијету износи хипотезу да се ради о одбјеглом сателиту Нептуна (Хегедушић, 1981). Ова је хипотеза оповргнута тек у новије вријеме.

Хегедушић наставља са својим публикацијама и након II свјетског рата, нарочито у часопису *Научна мисао* (Хегедушић, 1954, 1968). Задњу његову публикацију о Свемиру налазимо 1981. (Хегедушић, 1981), дакле 56 година након прве! У свим овим радовима присутна је идеја о једноставном ТБЗ.



Часопис *Научна мисао* и истоимено друштво за унапређивање науке основао је Младен Хегедушић у марту 1953. (Хегедушић, 1971). Како истиче словеначки антрополог и епистемолог Р. Муршич – који се у једном ширем раду осврће и на дјелатност те групе – Хегедушић је био аутсајдер али не и псеудонаучник; његово противљење теорији релативности је било нека врста предрасуде (Муршич, 1992/1993). Томе у прилог говори његов рукопис о теорији релативности који је написао још као двадесетогодишњак и који завршава реченицом „Теорија релативитета дакле у пола стоји у пола пада” (Хегедушић, 1919). Исто би се вјероватно могло рећи и за његову теорију Сунчевог система, иако у космогонији тада није било (а нема ни данас) такве парадигме као што је специјална теорија релативности.

Међу многобројним прилозима аматера из међуратног периода, налази се и рад бугарског љекара и писца Николе Илиева Бласкова (Бласков, 1935) о законима планетарних растојања за системе сателита Јупитера и Сатурна, једини рад ове врсте којег су аматери из нашег региона објавили у свјетској периодици. Рад је примијетио Ђорђе Николић у *Сатурну* (Николић, 1935).

Средином 1950-тих година постојао је веома велики интерес за законе планетарних растојања у региону. О “астроакустици” Јосипа Славенског је доста писано (Перичић, 1984; Микић, 2007), те се њом овдје нећемо бавити. Славенски је у марту 1955. одржао предавање у Аеронаутичком друштву у Београду, али се о “астроакустици” зна углавном из његове заоставштине. Није јасно чиме је његов интерес био инспирисан, али се зна да је потицао из ранијег времена. Славенски је студирао Конзерваторијум у Прагу 1920-1923., али вјероватно његов интерес није потицао из истог извора као Хегедушићев. Перичић сматра да је Славенски у овоме био самоук. Напомињем да је интересовање за ТБЗ – чак и код аматера – често долазило од оригиналних радова или ширих приказа у литератури; тј. да уобичајено уџбеничко навођење закона (1) уз пар историјских чињеница није посебно инспиративно.

У овом периоду налазимо и готово потпуно непознат рад Лудвика Вагаје (Вагаја, 1955), директора Гимназије у Новом Месту. Рад је посвећен експоненцијалном ТБЗ. Лудвик Вагаја (1883-1976) је био активан у словеначкој просвјети око пола вијека као професор математике и физике и касније директор. Забиљежен је и као шахиста, али није познато да ли је био и астроном-аматер. Вагаја углавном помиње космогонијске теорије, а његов начин извођења коефицијента геометријског реда у експоненцијалном ТБЗ је необичан: узима се геометријска средина односа великих полуоса сусједних планета. Тако се добија коефицијент 1,67, што је нешто нижа вриједност у односу на око 1,73 који се добија уобичајеном регресионом анализом.

Од средине 1950-тих година, интерес за ову тему у региону значајно опада, па у објављеним референцама деценијама налазимо само даље радове Младена Хегедушића, у којима се не износи ништа ново. Тек ће се са проласком сонди из програма Војаџер поред великих планета (1980-тих година) поново појавити интерес за законе планетарних растојања, али ти радови су изван нашег интереса овдје. Напоменимо да је у свјетској

литератури крајем 1960-тих и почетком 1970-тих година постојао веома велики интерес за регуларности у Сунчевом систему. Разлози су били многу-струки: велики интерес за Сунчев систем уопште и нарочито његов настанак, ренесанса небеске механике иницирана појавом моћних рачунара итд.

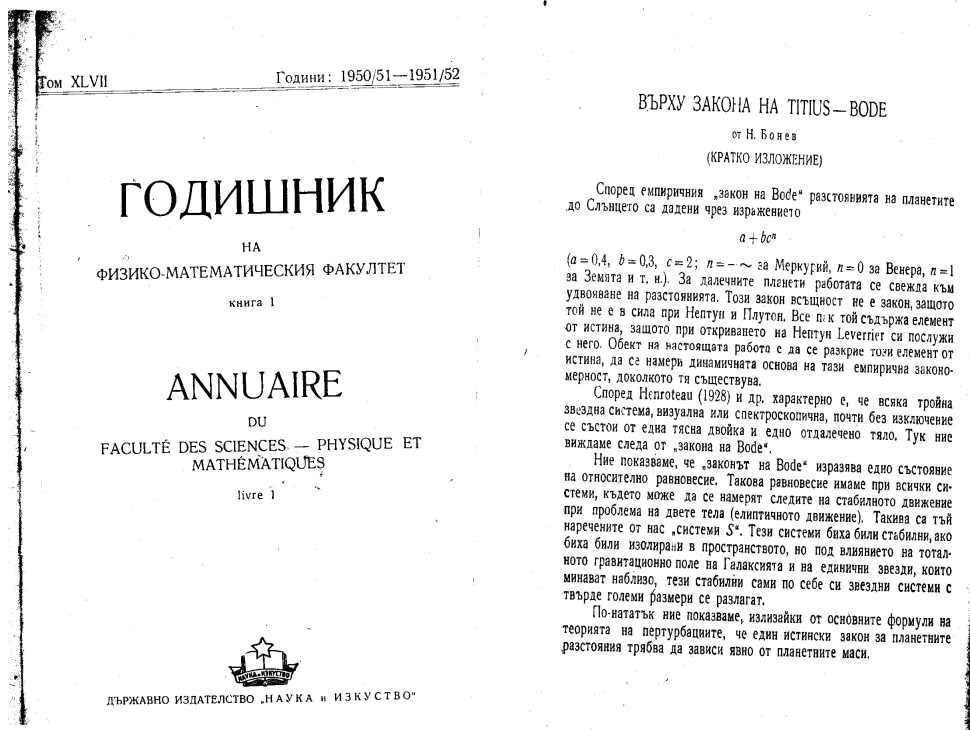
## 6. НИКОЛА БОНЕВ И АНГЕЛ БОНОВ

У земљама непосредног окружења – Мађарској, Румунији и Бугарској – не налазимо већи интерес за законе планетарних растојања до краја II свјетског рата. Било је прегледа неких важнијих радова из свјетске литературе, али врло мало оригиналних радова. Овдје, међутим, треба нагласити да је само за мађарску литературу доступна једна свеобухватна специјализована библиографија из астрономије, тако да није искључено да постоји неки заборављен рад попут Мохоровичићевог прилога у ГНН.

У току рата појавиле су се три важне теорије о настанку Сунчевог система: Алфвенова, Вајцкерова и Шмитова хипотеза. У све три теорије, нарочито Вајцкеровој, важну улогу играло је извођење закона планетарних растојања. Истовремено се појавило и неколико мање познатих космогонијских хипотеза, у неким од којих се такође изводи ТБЗ. У том контексту треба разумјети и појаву два рада у Годишњаку Физичко-математичког факултета у Софији у првој половини 1950-тих година.

Први рад написао је познати астроном Никола Иванов Бонев (1898-1979) (Бонев, 1952). Рад је објављен на француском (уз сажетак на бугарском), а постоји и сепарат послан у неке веће свјетске опсерваторије. Бонев не изводи неки конкретан облик ТБЗ него настоји да докаже да би тај закон – ако је уопште закон – морао зависити експлицитно од маса планета. Ова идеја појавила се код Алфвена, играла је велику улогу у Кајперовој космогонији из 1949, а истовремено с Боневом користи је и В. Г. Фесенков. Боневљеви аргументи се разликују јер долазе из небеске механике, а не из космогоније, али он користи доста далеку аналогију: типичан тројни звјездани систем.

Само двије године касније објављен је рад другог бугарског астронома Ангела Дамјанова Бонова (1919-1985). Тај рад (Бонов, 1954) је штампан на бугарском са сажетком на француском. Рад је потпуно непознат на Западу, а нисам успио да га пронађем ни у – иначе врло свеобухватној – секцији за астрономију и геодезију руског *Реферативног журнала*. Боновљев рад је један у низу прилога на ову тему у коме се даје закон планетарних растојања за системе сателита Јупитера, Сатурна и Урана. Код Бонова се радило о формули (2) са коефицијентима изабраним да се добије слагање са стварним растојањима, али он остаје код избора  $c = 2$ , што је врло ограничавајуће. Бонов цитира три референце укључујући, разумљиво, и Бонева, а то је вјероватно и једини хетеро-цитат Боневљевог рада. Могуће је да Бонов – као и многи прије и послје њега – није знао да су закони растојања за сателитске системе постојали у свјетској литератури одавно, дакле много прије рада аматера С. С. Петрова из 1939, који Бонов такође цитира.



Слика 4. Насловна страница годишњака Физичко-математичког факултета у Софији и бугарски сажетак Боневџевог рада из 1952. (стр. 190).

По мојим сазнањима, ни у Бугарској није било већег интереса за законе планетарних растојања након 1955. Тек од 1992. се поново појављује интерес за ову тему.

## 7. ЗАКЉУЧЦИ

О законима планетарних растојања, од којих је најпознатији Тицијус-Бодев закон, постоји врло опсежна и разноврсна литература — толико опсежна да секундарни извори дају само дјелимичан преглед. На нашим просторима, интерес за ове законитости јавља се почетком 20. вијека и од тада до средине 1950-тих година углавном прати свјетске трендове. Велики интерес за ову тему у свјетској научној јавности крајем 1960-тих и почетком 1970-тих година није, међутим, имао одјека у нашем региону.

Радови објављени у локалним публикацијама остали су углавном потпуно незапажени. Из раног периода нарочито је занимљива идеја В. Варићака о експоненцијалном Тицијус-Бодевом закону посебно за унутрашњи и

спољашњи Сунчев систем. Најмање три рада из периода 1940-1955, објављена на јужнословенским језицима, су у свјетској литератури остала потпуно непозната.

Међу већином од десетак аутора доприноса проблему планетарних растојања било је мало међусобног утицаја. Међутим, астрономски часопис *Сатурн* је посветио посебну пажњу управо прилозима из региона, на име радовима С. Мохоровичића и Н. Бласкова, иако су они објављени у свјетској литератури. Такође је чињеница да су локалне публикације биле доступне у другим центрима у региону, тако да је – с обзиром на разумљивост језика – у принципу могао постојати међусобни утицај. На основу неких заједничких карактеристика у доприносима различитих аутора из региона – нпр. подјеле Сунчевог система на два дијела – произилази да је можда заиста и било међусобног утицаја, како унутар једног центра тако и шире. Извјестан међусобни утицај – не увијек директан – постојао је са чехословачким научницима, и то углавном у првој половини 20. вијека.

У новијем времену прву оригиналну публикацију на тему планетарних растојања налазимо на Словенском југу тек 1986, али од 1992. године интерес је тако јак да би тим радовима требало посветити посебан чланак.

### Захвалница

Захваљујем се Г. С. Камишевој за копију рада Бонева из 1952.

### Литература

- Blaskoff N.: 1935, *L'Astronomie (Bull. Soc. Astron. France)* **49**, 213-214 (1935).  
 Boneff N.: 1952, "Sur la loi de Titius-Bode", *Годишник на Физико-математическия факултет* **47**, книга I, 183-190.  
 Бонов Ангел Д.: 1954, "Върху закона на Titius-Bode", *ibidem* **49**, книга I, 125-129.  
 Vagaja Ludvik: 1955, "Problem planetnih razdalj", *Proteus (Ljubljana)* **17**, 213-216.  
 Varićak V.: 1925, "O predočivanju distanca", *Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti* **230**, 259-263 (1925) [сажетак на француском: *Bulletin de l'academie Zagreb* **19/20**, 116-118 (1924/1925)].  
 Dittrich E.: 1923a, "Die Quantierung der periodischen Kometen", *Astron. Nachr.* **219**, 319-326.  
 Dittrich Arnošt: 1923b, "Problém gravitace", *Časopis pro pestování matematiki a fyziky* **52**, 387-401.  
 Dittrich E.: 1929, "Das Gesetz im Aufbau der Trabantensysteme", *Astron. Nachr.* **235**, 241-262.  
 Zenger Ch.-V.: 1899, "Le centre du monde et les lois du mouvement des corps célestes", *Bulletin de la Société Astronomique de France* **13**, 431-434.  
 Ignjatović S. R.: 2003, "History of the exponential form of the Titius-Bode law", in *Proc. Fifth General Conference of the Balkan Physical Union*, CD-ROM, Vrnjačka Banja, Serbia and Montenegro, August 25-29, 2003, edited by S. Jokić, I. Milošević, A. Balaž and Z. Nikolić (Serbian Physical Society, Belgrade), pp. 2003-2006.

- Игњатовић Синиша Р.: 2010, “Експоненцијални облик Тицијус-Бодеевог закона”, у зборнику *Прилози историји и епистемологији науке*, уредници Бранко Драговић и Мирослав Ивановић, Институт за криминолошка и социолошка истраживања, Београд, стр. 87-116.
- Jaki Stanley L.: 1972a, “The early history of the Titius-Bode law”, *American Journal of Physics* **40**, 1014-1023.
- Jaki Stanley L.: 1972b, “Das Titius-Bodesche Gesetz im Licht der Originaltexte”, *Nachrichten der Olbers-Gesellschaft Bremen* No. 86, 1-8.
- Н. Ј[анковић]: 1937, “Удаљеност у Сатурновом систему”, *Saturn* **3**, 226.
- Јанковић Ненад: 1988, “Настава астрономије на Великој школи”, у зборнику *Универзитет у Београду 1838-1988. Зборник радова*, Универзитет у Београду, Београд, 1988, стр. 413-425.
- Jung: 1939, *Zbl. Geophys. Meteor. Geod.* **3**, 44-45.
- Krug W.: 1938, “Empirische Gesetze des Planetensystems”, *Sterne* **18**, 68-69.
- Kučera Oton: 1895, *Naše nebo*, Matica hrvatska, Zagreb, str. 346-347.
- Kučera: 1929, *Astronomischer Jahresbericht* **30**, 52 (pro-1928).
- Melchior Paul: 1947, “Eléments canoniques des orbites et représentations des distances planétaires”, *Bulletin de l'Academie Royale Belgique* (5th ser.) **33**, 212-221.
- Микић Весна: 2007, “Јосип Славенски и астроакустика – у сусрет новом звуку”, у зборнику *Развој астрономије код Срба IV*, Београд, 22-26 априла 2006, уредник Милан С. Димитријевић, *Публикације Астрономског друштва “Руђер Бошковић”* No. 7, 635-641.
- Modrušan P.: 1939, “Novi zakon o udaljenostima u Sunčevom sistemu”, *Saturn* **5**, 134-135.
- Mohorovičić Stjepan: 1937, “Ein neues Gesetz für die Entfernungen im Saturnsystem”, *Astron. Nachr.* **263**, 199-200.
- Mohorovičić St.: 1938, “Ein neues Gesetz für die Entfernungen im Sonnensystem”, *Astron. Nachr.* **266**, 151-160.
- Mohorovičić Stjepan: 1940, “Novi zakon za udaljenosti u obitelji našega Sunca”, *Годишњак нашег неба XI*, 234-244.
- Muljević Vladimir: 2002, одредница “Hegedušić, Mladen”, *Hrvatski biografski leksikon* t. **5**, str. 489.
- Muršič Rajko: 1992/1993, “Znanost kot ideologija”, *Dialogi* **28** (12), 59-66; **29** (1), 49-57.
- Nieto Michael Martin: 1972, *The Titius-Bode Law of Planetary Distances: its History and Theory*, Pergamon, Oxford.
- Nieto Michael Martin: 1985, “The letters between Titius and Bonnet and the Titius-Bode law of planetary distances”, *American Journal of Physics* **53**, 22-25.
- Ђ. Н[иколић]: 1935, “Бугарин Бласков и Бодеев закон у Сунчевом систему”, *Saturn* **1**, 257-258.
- Paar V.: 1993, “Stjepan Mohorovičić – otac pozitronija”, *Hrvatski znanstveni zbornik* **2** (1), 51-106.
- Paar V.: 1996, “Stjepan Mohorovičić – “otac” pozitronija”, у зборнику *Znanost u Hrvata* t. **2**, MGC, Zagreb, 84-92.
- Peričić Vlastimir: 1984, “Josip Slavenski i njegova “astroakustika”” [са енглеским сажетком], *Zvuk* **1984** (4), 5-14 [њемачка верзија: *Musiktheorie* **3**, 55-69 (1988)].
- Randić Leo: 1994, “Pilarova sveučilišna predavanja iz astronomije”, у *Zborniku znanstvenog skupa o Gjuri Pilaru (1846.-1893.)*, Slavonski Brod, 1.10.1993. (HAZU, Zagreb, 1993), str. 173-181.
- Silva Giovanni: 1938, “Le leggi empiriche delle distanze planetarie”, *Coelum* **8**, 141-145.

- Sommer R.: 1928, "Neues von der alten Bodeschen Reihe", *Weltall* **27**, 163-166.
- Станојевић Ђорђе М.: 1906, *Централне силе у природи*, Државна штампарија, Београд, гл. VII (стр. 84-85).
- Trifunović Dragan: 1978, "Jedno uopštenje zakona o centralnim silama – o odnosu Nikole Tesle i Đorđa Stanojevića", u zborniku *Simpozij Nikola Tesla*, Zagreb – Smiljan/Gospić, 7-10 jula, 1976, urednik Tomo Bosanac, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, str. 203-211.
- Hegedušić Mladen: 1919, *Teorija relativiteta*, Zagreb, str. 49 [rukopis iz ostavštine Miroslava Krleže, br. R7970 C e 86, Nacionalna i sveučilišna knjižnica Zagreb].
- Hegedušić Mladen: 1925, *Spiralni karakter planetarnog sistema*, Klub „Astra”, Zagreb, str. 16-23.
- Hegedušić Mladen: 1926, *Rotationen und Bewegungen im Weltalle; Affinität der Planeten nach den Gruppen*, Klub „Astra”, Zagreb, naročito str. 13-17 i Dio II (str. 20-34).
- Hegedušić Mladen: 1928, *Charakteristik der Gravitationsfelder*, „Astra” Klub, Zagreb, § "Das Bode'sche Gesetz – die erste Charakteristik der Gravitationsfelder" (str. 12-28).
- Hegedušić Mladen: 1954, "Tvorba planetarnih sistema u svemiru", *Naučna misao* No. 2, 55-74.
- Hegedušić Mladen: 1968, "Postanak i razvoj svemira i nova fizika", *Naučna misao* No. 8, 33-45, naročito §§ 2 (str. 33-34) i 4 (str. 35-36).
- Hegedušić Mladen: 1971, *Biografija i bibliografija*, Zagreb, 8 str. [rukopis iz ostavštine Miroslava Krleže, br. R7970 C e 85, Nacionalna i sveučilišna knjižnica Zagreb] (Документ је настао када је, како аутор наводи у сљедећој референци, Лексикографски завод разматрао укључивање Хегедушића у неку своју публикацију).
- Hegedušić Mladen: 1981, *Konstelacija i dinamika našeg svemira* [pamflet], Zagreb, naročito §§ 2 (str. 8-10) i 4 (str. 16-21).
- Ш[еварлић] Б. М.: 1948, "Прилог изучавању законитости планетарних растојања", *Наука и природа* **1** (2), 69.
- Široký J.: 1948, "On the system of minor planets", *Spisy Přírod. Fakult. Univ. Masaryk.* No. 304.

## PLANETARY DISTANCE LAWS ON THE SLAVIC SOUTH

The first planetary distance law was the Titius-Bode law (TBL) from 1766. Early history of the TBL is fairly well-known, but more recent history much less so. Here, we consider several forgotten contributions whose authors are from the South Slavic countries. In 1925, the mathematician V. Varičák published a paper in which exponential TBL with different coefficients for the inner and outer Solar System was proposed, the first such rule ever. Special attention is devoted to the physicist S. Mohorovičić and his highly original planetary distance law from 1938. The decades-long activity of the amateur M. Hegedušić connected to the TBL is considered. In 1952, the Bulgarian astronomer N. Boneff tried to prove indirectly that a planetary distance law has to depend on the planetary masses. We also briefly consider the articles by L. Vagaja and A. Bonov, which relate to the special cases of the TBL. We conclude that there was usually no mutual influence among the authors, that many contributions have been completely forgotten and that the global trends were followed in the 1925-1955 period.