

SATELITSKA ETIKETA – NIZOVI PRATILACA

Ladislav Babić
V. Nazora 2, 40000 Čakovec, Hrvatska
e-mail: lord@net.hr

Godine 1986. u beogradskom časopisu za astronomiju "Vasiona/1-2" objavljen je rad "O nizovima pratilaca u Sunčevom sistemu". U njemu se pokušavaju udaljenosti (velike poluosi putanja, ustvari srednje udaljenosti grupe satelita) pratilaca (planeta, satelita) centralnog tijela (Sunca, planeta) predstaviti u obliku relacija tipa,

$$r_n = 1 + A \cdot B^{n-1} \quad n = -\infty, \dots, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

A, B – bezdimenzionalne konstante

analognih tzv. Titius-Bodeovu pravilu za planetarne udaljenosti od Sunca. Regresijska analiza primjenjena na sustave Sunca (8 članova, bez Neptuna i Plutona), Jupitera (12), Saturna (9) i Urana (5) dala je – uz odgovarajuće grupiranje pratilaca centralnog tijela (detalje vidi u navedenom radu) – slijedeće relacije za udaljenosti satelita od centralne mase.

$$\text{Sunčev sustav} \quad r_n = 1 + 0,8 \cdot 1,97^{n-1} \quad (2a)$$

$$\text{Jupiterov sustav} \quad r_n = 1 + 1,37 \cdot 1,9^{n-1} \quad (2b)$$

$$\text{Saturnov sustav} \quad r_n = 1 + 0,3 \cdot 1,82^{n-1} \quad (2c)$$

$$\text{Uranov sustav} \quad r_n = 1 + 0,51 \cdot 1,98^{n-1} \quad (2d)$$

$$n = -\infty, \dots, 1, 2, 3, \dots$$

Udaljenosti r_n izražene su u odnosu na daljinu prve popunjene, tzv. referentne putanje (R_∞ - Merkur, Amalthea, Mimas, Miranda). Udaljenost u apsolutnim jedinicama se dobiva tada kao

$$R_n = R_\infty \cdot r_n \quad (3)$$

Formule prema tome ne obuhvaćaju pratitelje bliže centralnom tijelu od referentne orbite (kojih je u međuvremenu otkriven velik broj – uglavnom kao rezultat misija istraživačkih sondi). Nedavno smo sa NASA-ine stranice na Internetu skinuli najnovije podatke o orbitalnim parametrima satelita nama tretiranih sistema Jupitera (28), Saturna (30), i Urana (21). Već na prvi pogled primjećujemo kako ovi sustavi sadrže višestruko veći broj članova no što ih je svojedobno nama bilo dostupno za analizu. Smatrajući da su naši nizovi (2b-2d) veoma dobro predvidjeli daljine novootkrivenih satelita od centralnog tijela, kao prilog donosimo odgovarajuću tablicu (TABLICA 1). Spomenimo usput kako je dilema, predstavlja li Titius-Bodeov niz odraz prirodne zakonitosti ili je samo slučajna igra brojeva, razriješena (R.Louise) čini se, u korist prve pretpostavke, godine 1982. u časopisu "The Moon and the Planets".

Naši nizovi (2b-2d) ne mogu se, zbog svoje strukture, koristiti za opisivanje udaljenosti satelita, planetu bližih od udaljenosti referentne putanje, no oni veoma dobro funkcioniraju za ostale pratioce. Izuzetak, sem Uranova trabanta Sycoraxa, čini grupa zasada još bezimernih Saturnovih satelita otkrivenih 2000-te godine (S2, S3, S4, S8, S9, S10, S11 – svi oni ispred oznake imaju još prefiks S/2000) koji se ne uklapaju u naša predviđanja, te ćemo se stoga malo zadržati na njima. Sračunamo li minimalne (pericentrične) i maksimalne (apocentrične) udaljenosti ovih satelita od planeta, zamijetit ćemo kako se apocentri dosta dobro uklapaju u relaciju (2c) (vidi TABLICU 2). Ovo je skupina jako interreagirajućih satelita (na što upućuju i njihove bliske max. udaljenosti

od Saturna), kako međusobno, tako i sa nekima od preostalih Saturnovih pratitelja – posebno Phoebe i S12. O tome govori i niz međusobnih rezonancija (sumjerljivosti perioda) u kojima se nalaze (vidi TABLICU 3), kao i neke činjenice iz iste tablice.

Ukupna energija dva satelita na putanji, uključivši i energiju njihove interakcije (E_{12}),

$$E_U = -\frac{GMm_1}{2a_1} - \frac{GMm_2}{2a_2} - \frac{GMm_1m_2}{r_{12}} \quad (4a)$$

je konstantna veličina

$$E_U = E_1 + E_2 + E_{12} = konst. \quad (4b)$$

E_U – ukupna energija

E_1, E_2 – energija na putanji

E_{12} – energija interakcije

M – masa centralnog tijela

m_1, m_2 – mase satelita

a_1, a_2 – velike poluosi njihovih putanja

r_{12} – trenutna međusobna udaljenost satelita

Odatle slijedi povezanost promjene energije satelita na putanji sa promjenom energije interakcije,

$$d(E_1 + E_2) = -dE_{12} \quad (5)$$

Pri međudjelovanju se, uslijed uzajamnog privlačenja, smanjuje trenutačna udaljenost (r_{12}) između satelita (u prosjeku, kroz duži period vremena). Energija interakcije (E_{12}) se prema tome smanjuje ($dE_{12} < 0$) pri istovremenom povećanju sume orbitalnih energija ($d(E_1 + E_2) > 0$). Dolazi, ustvari, do preraspodjele orbitalne energije među sudionicima interakcije – dok se jednom smanjuje drugome se istovremeno povećava, uz uvjet da je (tijekom trajanja interakcije) ukupna promjena orbitalne energije veća od nule. Iz izraza za orbitalnu energiju pratioca slijedi,

$$\frac{da}{a} = -\frac{dE}{E} \quad (6)$$

što znači da bi se satelitu kome se dodaje energija ($dE > 0$) povećala velika poluos orbite ($da > 0$), dok se pratiocu kome se energija oduzima ($dE < 0$) smanjuje velika poluos putanje ($da < 0$). Prema tome bi se, kao rezultat interakcija, trebale promijeniti poluosi putanja satelita. One bi se, po nama, nakon nekog vremena trebale stabilizirati oko vrijednosti $r_{10} = 12,37 \cdot 10^6$ km i $r_{11} = 22,36 \cdot 10^6$ km. Kako se to, očito, još nije dogodilo, pretpostavka je da su ovi sateliti relativno nedavno (u astronomskom mjerilu) postali dio Saturnova sustava – najvjerojatnije, zahvatom planetoida ili kometa iz međuplanetarnog prostora.

Varijanta ovog pogleda na stvar je slijedeća. Po analogiji sa Saturnovom porodicom kometa čiji se afeli gomilaju oko Saturna, pretpostavit ćemo postojanje satelita veće mase (m_1) koji gomila oko sebe apocentre razmatranih satelita (među koje možemo uključiti i S12). S obzirom da nam nisu na raspolaganju mase razmatranih tjelesa, pretpostavimo da je to satelit S1 – s obzirom da mu je udaljenost najveća – (ili još nepoznati objekt udaljeniji od njega). Rezultat ovih interakcija neka je pomak svih satelita – za koje ćemo smatrati da imaju jednake mase (m_0) – uključivo sa S1, na udaljenosti $r_{11} = 22,36 \cdot 10^6$ km. Međusobne interakcije kolektorovih partnera ćemo zanemariti.

Pokušajmo procjeniti omjer masa m_1/m_0 . Pretpostavka je da je na taj način nastalo stabilno stanje u kojem se suma energija interakcija više ne mijenja,

$$\sum_{k=2}^{10} dE_{1k} = 0 \quad (7a)$$

E_{1k} – energija interakcije S1 sa k -tim partnerom; ima 9 takvih interakcija

(možda još oštrije, da se energije interakcije bilo koja dva sudionika više ne mijenja – $dE_{1k}=0$)

odakle je i

$$\sum_{k=2}^{10} d(E_1 + E_{1k}^{orb}) = 0 \quad (7b)$$

odnosno,

$$-\frac{GMm_1}{2a_1} - \sum_{k=2}^{10} \frac{GMm_k}{2a_k} = -\frac{GMm_1}{2a_1'} - \sum_{k=2}^{10} \frac{GMm_k}{2a_{1k}} \quad (8)$$

a_{1k} – velika poluos orbite nakon interakcije sa S1

Stavimo li,

$$a_1' = a_1 + \Delta a_1 ; \quad a_{1k} = a_k + \Delta a_k ; \quad m_k \equiv m_0$$

iz (8) slijedi,

$$\Delta a_1 + \frac{m_0}{m_1} \sum_{k=2}^{10} \frac{a_1 a_1'}{a_k a_{1k}} \cdot \Delta a_k = 0 \quad (9a)$$

Kako je $a_1' = a_{1k} = r_{11}$ izraz se pojednostavljuje,

$$\frac{\Delta a_1}{a_1} + \frac{m_0}{m_1} \sum_{k=2}^{10} \frac{\Delta a_k}{a_k} = 0 \quad (9b)$$

Za omjer masa satelita S1 i bilo kojeg drugog iz razmatrane grupe, dobije se,

$$\frac{m_1}{m_0} = 77,2 \quad (10)$$

"Kolekcionar" apocentara ima prema tome masu osamdesetak puta veću no svaki član njegove "zbirke". Tako bi se, nakon nekog vremena, i poluosi putanja ovih iznimki uklopile u našu relaciju (2c). U cijelom razmatranju nisu uzeta u obzir djelovanja Phoebe, možebitno i ostalih satelita, koja u odnosu na S2, S3, ..., S12 imaju suprotnu tendenciju djelovanja od djelovanja S1. Također, moramo imati u vidu da je formula (2c) rezultat statističkog razmatranja. Kako predviđena veličina velike poluosi trabanta S1 odstupa svega oko 3,1% od njene realne vrijednosti, pitanje je ima li argumenata za pretpostavku o pomaku njegove orbite na stabilniji položaj (određen sa r_{11}) ? Međutim, pretpostavka o utjecaju neke velike mase na gomilanje apocentara ovih satelita je

vjerojatna, sem ako oni nisu nastali raspadom i naknadnim zahvatom nekog jedinstvenog tijela upravo na ovoj udaljenosti od Saturna.

Svrha ovog kratkog prikaza je da podsjeti na, po nama, interesantne relacije (2b-2d) u svjetlu najnovijih astronomskih (astronautičkih) otkrića o građi Solarnog sustava.

U Čakovcu, 2001.

Ladislav Babić

LITERATURA

- 1) Babić, L. (1986) "O nizovima pratilaca u Sunčevom sistemu", Vasiona **1-2**, Beograd
- 2) Luoise, R. (1982) "The Moon and the Planets" **26, 27**
- 3) Tomić, A. (1993) "Zašto su planete tamo gdje jesu?", Vasiona **2-3**, Beograd
- 4) http://ssd.jpl.nasa.gov/sat_props.html

TABLICA 1.

Jupiterovi sateliti

SATELIT	n	udaljenost (1000 km)	relativna daljina	r _n	greška (%)	orb. period (dani)	eksc.		
AMALTHEA	-∞	180.5	1	1	-	0.498	0.0026		
METIS		128				0.295	0.0		
ADRASTEJA		129				0.298	0.0		
THEBE	-2	221.9	1.23	1.2	2.4	0.675	0.100		
IO	1	421.6	2.34	2.37	1.3	1.769	0.0041		
EUROPA	2	670.8	3.72	3.6	3.2	3.551	0.0101		
GANYMEDE	3	1070	5.93	5.95	0.3	7.155	0.0006		
CALLISTO	4	1882	10.43	10.4	0.3	16.689	0.0074		
?	5	-	-	18.85	-	-	-		
S/2000 J1	6	7507	41.59	34.92	16.0	130.02	0.242		
HIMALIA (VI) ¹		11470	63.55		3	250.56	0.16		
LYSITHEA (VII) ¹		11800	65.37	(64.86) ¹	0.1	(0.9) ¹	259.20	0.11	
ELARA (X) ¹	7	11850	65.65	(65.70) ²	65.45	0.3	(0.4) ²	259.64	0.22
LEDA ²		11160	61.83	(65.19) ¹⁺²		5.9	(0.4) ¹⁺²	240.92	0.16
S/2000 J11 ²		12557	69.57			5.9		286.95	0.248
ANANKE (XII) ¹		21200	117.45			5.1		610.45	0.24
CARME (XI) ¹		22600	125.21			1.4		702.28	0.25
PASIPHAE (VII) ¹		23500	130.19			5.2		708.04	0.41
SINOPE (IX) ¹		23700	131.30			6		724.51	0.25
S/2000 J10 ²		20174	111.76			10.5		587.62	0.135
S/2000 J3 ²		20210	111.97			10.3		585.17	0.218
S/2000 J7 ²		21010	116.40	(126.04) ¹		6.1	(2) ¹	619.19	0.225
S/2000 J5 ²	8	21336	118.20	(123.29) ²	123.46	4.5	(0.1) ²	633.68	0.235
S/2000 J9 ²		22304	123.57	(124.08) ¹⁺²		0.1	(0.5) ¹⁺²	682.68	0.259
S/2000 J4 ²		22972	127.27			3.0		713.52	0.280
S/2000 J6 ²		23074	127.83			3.4		718.71	0.261
S/2000 J8 ²		23618	130.85			5.6		743.13	0.407
S/2000 J2 ²		23746	131.56			6.2		750.81	0.243
S/1999 J1 ²		24103	133.53			7.5		758.76	0.282

TABLICA 1. (nastavak)*Saturnovi sateliti*

SATELIT	n	udaljenost (1000 km)	relativna daljina	r_n	greška (%)	orb. period (dani)	eksc.
MIMAS	$-\infty$	185.4	1	1	-	0.942	0.0201
PAN		133.6				0.575	0.0
ATLAS		137.7				0.602	0.0
PROMETHEUS		139.4				0.613	0.0024
PANDORA		141.7				0.629	0.0044
JANUS		151.4				0.695	0.0066
EPIMETHEUS		151.4				0.694	0.0126
ENCELADUS	1	237.9	1.28	1.3	1.6	1.370	0.0048
TELESTO ¹		294.7	1.59		2.5	1.888	0.0009
CALYPSO ¹	2	294.7	1.59	(1.59) ¹	1.55	(2.5) ¹	1.888
TETHYS ²		294.5	1.59	(1.59) ¹⁺²		(2.5) ¹⁺²	1.888
DIONE		377.2	2.03		2	2.737	0.0021
HELENE	3	377.4	2.04	(2.04)	1.99	(2.5)	2.737
RHEA	4	526.7	2.84		1.1	4.518	0.0002
?	5	-	-		4.29	-	-
TITAN		1221	6.59		6.1	15.945	0.0289
HYPERION	6	1479.3	7.98	(7.29)	6.99	12.4	(4.1)
?	7	-	-		11.90	-	-
JAPETUS	8	3558.4	19.19		20.84	8.5	79.331
?	9	-	-		37.12	-	-
S/2000 S5 ¹		11339	61.16			9.1	(8.5) ¹
S/2000 S6 ¹	10	11465	61.84	(61.50) ¹	66.73	7.9	(3.8) ¹⁺²
PHOEBE ²		12945.5	69.82	(64.27) ¹⁺²		4.4	548.212
S/2000 S2		15172	81.83				685.89
S/2000 S8		15676	84.55				730.84
S/2000 S3		17251	93.05				826.02
S/2000 S10		17452	94.13				860.03
S/2000 S11		17874	96.41				888.54
S/2000 S4		18231	98.33				924.58
S/2000 S9		18486	99.71				939.90
S/2000 S1		23076	124.47			3.1	1310.60
S/2000 S7	11	20144	108.65	(113.21)	120.63	11.03	(6.6)
S/2000 S12		19747	106.51			13.26	1038.11

TABLICA 1. (nastavak)*Uranovi sateliti*

SATELIT	n	udaljenost (1000 km)	relativna daljina	r_n	greška (%)	orb. period (dani)	eksc.
MIRANDA	$-\infty$	130.4	1	1	-	1.413	0.0018
CORDELIA		49.8				0.335	0.0003
OPHELIA		53.8				0.376	0.0099
BIANCA		59.2				0.435	0.0009
CRESSIDA		61.8				0.464	0.0004
DESDEMONA		62.7				0.474	0.0001
JULIET		64.4				0.493	0.0007
PORTIA		66.1				0.513	0.0001
ROSALIND		69.9				0.558	0.0001
BELINDA		75.3				0.624	0.0001
S/1986 U10		76.4				0.638	0.0011
PUCK		86.0				0.762	0.0001
ARIEL	1	191.9	1.47	1.51	2.7	2.520	0.0012
UMBRIEL	2	267.3	2.05	2.01	2	4.144	0.0040
TITANIA	3	439.2	3.37	3	11	8.706	0.0012
OBERON	4	587.0	4.50	4.96	10.2	13.463	0.0013
?	5	-	-	8.84	-	-	-
?	6	-	-	16.52	-	-	-
?	7	-	-	31.73	-	-	-
CALIBAN	8	7230	55.44	61.85	11.6	579.47	0.159
STEPHANO		7979	61.19 (58.32)		1.1 (6.1)	673.56	0.228
SYCORAX	9	12178	93.39	121.47	30.1	1283.27	0.523
PROSPERO		16665	127.80 (119.43)		4.9 (1.7)	2037.14	0.439
SETEBOS		17879	137.11		11.4	2273.34	0.551

NAPOMENA: - zasjenjeno su prikazani sateliti analizom kojih se u radu [1] došlo do relacija (2b)-(2d).

- podaci u zagradama (s eventualnim indeksima) odnose se na srednju udaljenost odgovarajuće skupine satelita

TABLICA 2.

Pericentrične i apocentrične udaljenosti nekih Saturnovih satelita

SATELIT	pericentar (10^6 km)	greška spram r_{10} (%)	apocentar (10^6 km)	greška spram r_{11} (%)
S/2000 S2	9.66	28.1	20.68	8.1
S/2000 S8	12.66	2.3	21.84	2.4
S/2000 S3	8.46	46.2	28.00	20.1
S/2000 S10	11.44	8.1	19.91	12.3
S/2000 S11	14.40	14.1	22.57	0.9
S/2000 S4	9.27	33.4	25.64	12.8
S/2000 S9	11.15	10.9	24.59	9.1
sr. vrijednost	11.06	11.8	23.32	4.1
S/2000 S12	17.38	28.8	22.12	1.1
sr. vrijednost – uključivo S12	11.80	4.8	23.16	3.4

TABLICA 3.

Uzajamne rezonancije nekih Saturnovih satelita

	PHOEBE	S2	S8	S3	S10	S11	S4	S9	S12	S1
PHOEBE		4:5	3:4	2:3	7:11	5:8	3:5	7:12	1:2	5:12
S2	5:4		1:1 bliski A slične VP		4:5 bliski P		3:4 bliski P		2:3	1:2
S8	4:3	1:1 bliski A slične VP				5:6 bliski P			2:3	5:9
S3	3:2				1:1 slične VP			7:8 bliski A slične VP	4:5	2:3
S10	11:7	5:4 bliski P		1:1 slične VP		1:1 bliski A slične VP	1:1 bliski P slične VP	1:1 slične VP	4:5	2:3
S11	8:5		6:5 bliski P		1:1 bliski A slične VP			1:1 slične VP	5:6	2:3
S4	5:3	4:3 bliski P			1:1 bliski P slične VP				8:9	5:7
S9	12:7			8:7 bliski A slične VP	1:1 slične VP	1:1 slične VP			8:9 bliski A	5:7
S12	2:1	3:2	3:2	5:4	5:4	6:5	9:8	9:8 bliski A		4:5
S1	12:5	2:1	9:5	3:2	3:2	3:2	7:5	7:5	5:4	

NAPOMENA: *idući od Phoebe prema S1 udaljenost satelita od Saturna raste*

A – apocentar

P – pericentar

VP – velika poluos orbite

SATELLITE ETIQUETTE – SATELLITE SERIES

In the light of novel planetological discoveries we contemplate fitting of real distances of recently discovered planetary satellites (from the central body) with relations of type $r_n = 1 + A \cdot B^{n-1}$ developed in 1983. and published in 1986. in Belgrade periodical "Vasiona/1-2".