

# ANOMALIJA Pioneera 10 – MOGUĆE RJEŠENJE

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

## ISPRIKA

Nedovoljno (budimo iskreni – nikakvo) poznavanje engleskog jezika krivo je za prvobitnu (*krivu!*) autorovu interpretaciju kako se *anomalija sonde Pioneer 10* sastoji u tome da se letjelica nalazi dalje od proračunom očekivanog položaja. Sukladno ovoj nedopustivoj autorovoj pogrešci, dano je i prvobitno objašnjenje cijele pojave u međuvremenu povučenom radu: „*Anomalija kretanja Pioneera 10 i širenje svemira*“. Ovim radom, koji počiva na ispravno interpretiranoj anomaliji kretanja sonde, ispravljamo prethodni previd – činjenica koja sama po sebi niukoliko ne utječe na kvalitetu autorovih zaključaka. Ostaje mi samo da se ispričam (skrušeno se nadajući razumijevanju) čitaocima koje sam doveo u zabludu svojom pogreškom.

## SAŽETAK

U radu se, anomalija kretanja, zamijećena kod međuplanetarne sonde *Pioneer 10*, pokušava objasniti kao posljedica lokalne manifestacije (smanjenje udaljenosti *sonda – Sunce*) kozmološke pojave, poznate kao širenje svemira. Smatramo da se anomalija izrazito manifestira kod tjelesa koja nisu gravitaciona vezana uz *Sunčev sustav*, poput interplanetarnih sondi lansiranih *II kozmičkom brzinom* ili kometa na paraboličnim, odnosno hiperboličnim putanjama u odnosu na *Sunce*.

## 1. OPIS POJAVE

Američka letjelica *Pioneer 10* ( $m = 241 \text{ kg}$ ) lansirana je 2.3.1972. godine brzinom od  $12.2 \text{ km s}^{-1}$  u odnosu na *Zemlju*, s ciljem izučavanja *Jupitera*. Nakon izvršene misije, letjelica nastavlja svoj put prema zvijezdama, s obzirom da je lansirna brzina od  $42.2 \text{ km s}^{-1}$  u odnosu na *Sunce* (*II kozmička brzina*) dovoljna da se oslobodi njegova gravitacijskog zagrljaja. Veza sa sondom prekinuta je 23.1.2003. godine (prema nekim podacima, 25.2.2003.g.) kada je bila na udaljenosti  $s$  koje je signal putovao  $11^h 20^m$  do *Zemlje* ( $r_s = 12.24 \cdot 10^9 \text{ km}$ ). Telemetrijsko praćenje sonde otkrilo je pojavu anomalne akceleracije  $a = -(8.74 \pm 1.33) \cdot 10^{-10} \text{ ms}^{-2}$  u odnosu na *Sunce*, što – na dan 23.1.2003. godine – odgovara odstupanju (smanjenju) udaljenosti  $s$  obzirom na proračunatu, reda veličine rastojanja *Zemlja-Mjesec*, ili u prosjeku, oko  $13000 \text{ km} \cdot \text{god}^{-1}$ . Slična pojava otkrivena je i kod sonde *Pioneer 11*, kao i kod letjelica tipa *Voyager*.

„Objašnjenja“ pojave kretala su se u rasponu od greške na raketnim motorima sonde, pogrešaka pri telemetriji, preko utjecaja sunčeva vjetra ili njegove magnetosfere, do utjecaja *Kuiperova pojasa*, tamne svemirske materije na kretanje sonde, na pojave ekvivalentne zamoru svjetlosti, do – po nama najnevjerojatnijeg (zbog raspona pojava kod kojih su, tijekom stoljeća odnosno desetljeća, pokazale svoju vrijednost): zahtjeva za modifikacijom *Newtonova zakona gravitacije*, odnosno *Opće teorije relativnosti*. Najnovije „objašnjenje“ anomalije sonde *Pioneer 11*

(blizanca *Pioneer-a 10*) potječe od tima predvođenog *Slava G. Turyshev*-im iz *Jet Propulsion Laboratory* [7]. Prema autorima, nejednoliko toplinsko zračenje sa letjelice dovoljno je za skretanje sonde s pravca i ono je odgovorno za 28%- 36% anomalije u trenutku kada je *Pioneer 11* bio udaljen  $3.750 \cdot 10^9 \text{ km}$ . Analogijom, objašnjenje se prenosi i na sondina blizanca. „Objašnjenje“ *tridesetak postotaka* anomalije nikako nije objašnjenje *cjelovite anomalije*! Na oprez nas podsjećaju klasično „objašnjenje“ *skretanja svjetlosti* (upola manje od stvarnog!) u gravitacionom polju *Sunca*, kao i klasično „objašnjenje“ *zakretanja Merkurova perihela* (od ukupnog pomaka jednakog *574" po stoljeću*, ostalo je neobjašnjeno „samo“ *43" po stoljeću* – procentualno mnogo manje no manjkajući dio *Turyshev-ljeva „objašnjenja“*) – obje pojave zaista objašnjene *Općom teorijom relativnosti*.

Naše objašnjenje zasniva se na generalnoj pojavi – ekspanziji univerzuma – eksplicitnije, na tzv. plankonskoj teoriji koja ga pokušava objasniti.

## 2. ANOMALIJA *Pioneera 10* I PRINCIP NEZAVISNOSTI GIBANJA

Kako se pri kretanju sonde opaža stalna (konstantna) anomalna akceleracija, možemo smatrati da je odstupanje od proračunatog puta letjelice uvjetovano dodatnim, nezavisnim od kretanja uzrokovanog sunčevom gravitacijom, jednolikim ubrzanim gibanjem.

Dana *23.1.2003.godine*, temeljem

$$\begin{aligned} r_z &= c \cdot t_s \\ c &= 3 \cdot 10^5 \text{ kms}^{-1} \\ t_s &= 11^h 20^m = 11.334 \text{ h} \end{aligned} \quad (2.1)$$

dobijamo udaljenost sonde od *Zemlje*

$$r_z = 12.24 \cdot 10^9 \text{ km} , \quad (2.2)$$

čemu treba dodati još *IAJ* da bi se dobila udaljenost od *Sunca*:

$$r_s = 12.39 \cdot 10^9 \text{ km} . \quad (2.3)$$

Promjena daljine sonde, izazvana anomalnom akceleracijom, dobija se iz

$$\begin{aligned} \Delta r &= \frac{a \cdot (\Delta t)^2}{2} , \\ \Delta t &= 30.9 \text{ god} \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\text{što daje} \quad \Delta r = -416000 \text{ km} \quad (2.5)$$

$$\text{ili} \quad \frac{\Delta r}{\Delta t} = -13450 \text{ km} \cdot \text{god}^{-1} \quad (2.6)$$

prosječnog godišnjeg odstupanja.

Promjena radijalne brzine sonde uzrokovana anomalnom akceleracijom, bit će

$$\Delta v = a \cdot \Delta t \quad (2.7)$$

odnosno, 
$$\Delta v = -0.85 \text{ ms}^{-1}. \quad (2.8)$$

### 3. KRETANJE *Pioneera 10* POD UTJECAJEM GRAVITACIJE

U *Newtonovoj teoriji*, kretanje tijela pod utjecajem privlačne sile centralnog tijela mase  $M$ , dano je relacijom

$$V^2 = V_0^2 + 2GM \cdot \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right)$$

$V, V_0$  – tangencijalne brzine sonde u odnosu na centralno tijelo . (3.1)

$r, r_0$  – udaljenosti sonde od centralnog tijela

$V_0, r_0$  – početne vrijednosti brzine i udaljenosti

Kako je, 
$$V_{0z} = 12.2 \text{ kms}^{-1}$$

$$V_{0s} = 42.2 \text{ kms}^{-1}$$

to na dan zadnjeg kontakta sa sondom, vrijedi (uz brzine oslobađanja u odnosu na *Zemlju*, odnosno *Sunce*, od  $11.2 \text{ kms}^{-1}$  tj.  $42.2 \text{ kms}^{-1}$ ):

$$r_z = 12.24 \cdot 10^9 \text{ km}$$

$$V_z = 4.83 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$r_s = 12.39 \cdot 10^9 \text{ km}$$

$$V_s = 4.35 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

Telemetrija, primjenom *Dopplerova efekta*, daje (indirektno) veću tangencijalnu brzinu sonde od proračunanih.

### 4. JE LI ANOMALIJA POVEZANA SA SUNČEVOM GRAVITACIJOM?

Uzevši u obzir da je anomalno ubrzanje *Pioneera 10* istog smjera kao i ubrzanje koje *Sunce* daje sondi, možemo pisati

$$a_s + a = -\frac{GM_s}{r^2}, \quad (4.1)$$

gdje je 
$$a_s = -\frac{GM_s}{r_s^2} \quad (4.2)$$

ubrzanje koje *Sunce* daje sondi, a  $r_s$  - udaljenost sonde od *Sunca*, dok je  $r$  – revidirana udaljenost sonde od *Sunca* radi djelovanja anomalnog ubrzanja  $a$ . Slijedi,

$$r = r_s \cdot \left( 1 + \frac{a}{a_s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.3)$$

odakle proizlazi – na dan zadnjeg kontakta sa letjelicom:

$$\Delta r = r - r_s \approx -\frac{r_s \cdot a}{2a_s} \approx -6 \cdot 10^6 \text{ km} . \quad (4.4)$$

Rezultat, očito različit od (2.5), što govori da anomalna akceleracija  $a$  ne može biti povezana sa promjenom sunčeve gravitacije (dakako, smatramo li sunčevu masu praktički nepromjenljivom tijekom gibanja sonde. Uostalom, za takav rezultat njegova bi se masa trebala, suprotno stvarnosti, povećavati.). Zamijetimo inače, da anomalna akceleracija iznosi svega

$$\frac{a}{a_s(1AJ)} = 1.47 \cdot 10^{-7} \quad (4.5)$$

dio ubrzanja što ga *Sunce* daje sondi na udaljenosti od 1AJ.

Do odnosa (4.4) dolazimo i diferenciranjem relacije

$$a_s = -\frac{GM_s}{r^2} \quad (4.6)$$

za gravitaciono ubrzanje što ga daje *Sunce*, odakle onda slijedi:

$$dr = \frac{r^3 \cdot da_s}{2GM_s} . \quad (4.8)$$

Kada bi anomalna akceleracija  $a \equiv da$ , bila uzrokovana promjenom ubrzanja što ga daje *Sunce* – dakle,  $da = da_s$ , dobili bismo za  $dr$  rezultat identičan (4.4), što vodi na već rečeni zaključak.

## 5. ZAPAZANJA

Kako je efekt anomalnog ubrzanja kozmičke letjelice:

- isti za sve tipove sonde kod kojih je zapažen (*Pioneer 10 i 11, Voyager 1 i 2,...*)
- s obzirom na to da se oblici i mase ovih sonde međusobno razlikuju
- s obzirom na njihove različite putanjske elemente

to uzrok pojave ne smije ovisiti o karakteristikama letjelica i putanja. Uzrok nije niti lokalnog karaktera – on je globalan i univerzalan.

## 6. EKSPANZIJA SVEMIRA

Ekspanzija svemira opisana je *Hubbleovim zakonom*

$$v = H \cdot r \quad (6.1)$$

gdje je  $H$  – u vremenu promjenljivi tzv. *Hubbleov parametar* (znan i kao *Hubbleova konstanta*) kojega se vrijednosti predmnijevaju u rasponu

$$H = (50 - 100) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1} . \quad (6.2)$$

U tzv. plankonskoj teoriji (vidjeti [3] i [4]) k tome pridolazi i niz kvantnih uvjeta, od kojih su za naš problem bitna dva:

$$r(N) = N \cdot \lambda_p \quad (6.3)$$

$$T(N) = N \cdot T_p \quad (6.4)$$

$N$  – kvantni broj svemira (danas :  $N_0 = 1.18 \cdot 10^{61}$ )

$r(N)$  – radius svemira

$T(N)$  – starost svemira

$\lambda = 1.61 \cdot 10^{-35} \text{ m}$  Planckova duljina

$T_p = 5.38 \cdot 10^{-44} \text{ s}$  Planckovo vrijeme

Kako se plankonski svemir širi, gotovo od samih početaka, brzinom svjetlosti, to vrijedi:

$$T(N) = \frac{1}{H(N)} \equiv \frac{1}{H}. \quad (6.5)$$

Podaci, proizašli iz plankonske teorije, a relevantni za naš problem su:

$$H = 48.6 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} = 1.58 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

$$T(N_0) = 20.1 \cdot 10^9 \text{ god} \quad \text{starost svemira}$$

$$M(N_0) = 2.57 \cdot 10^{53} \text{ kg} \quad \text{masa svemira}$$

$$a = 4.7 \cdot 10^{-10} \text{ ms}^{-2} \quad \text{akceleracija širenja (bez utjecaja gravitacije) svemira}$$

Kako gravitacija *gotovo* anulira gore navedenu akceleraciju, to se naš plankonski svemir širi sa zanemarivim ubrzanjem, gotovo jednoliko – brzinom svjetlosti. Pošto objašnjenje anomalnog ubrzanja uključuje i, danas nesigurnu, vrijednost *Hubbleove konstante*, naši proračunani podaci odnosit će se na slijedeće vrijednosti:

$$H_1 = 48.6 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} ; (T_1 = 20.1 \cdot 10^9 \text{ god}) \quad \text{– plankonska teorija}$$

$$H_2 = 71 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} ; (T_2 = 13.7 \cdot 10^9 \text{ god}) \quad \text{– WMAP misija}$$

$$H_3 = 78 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} ; (T_3 = 12.5 \cdot 10^9 \text{ god})$$

Tijekom proračuna, učinit ćemo aproksimaciju da se  $H$  ne mijenja sa vremenom.

## 7. OBJAŠNJENJE ANOMALIJE *Pioneera 10*

Gibanje sonde pod djelovanjem zemljine (općenitije, sunčeve) gravitacije opisuje izraz (3.1) koji se koristi za proračun udaljenosti letjelice od *Zemlje*. Ako se tangencijalna brzina sonde u odnosu na *Zemlju* povećava, proizlazi da se njena stvarna udaljenost od *Zemlje (Sunca)* – u odnosu na pretpostavljenu iz klasičnog računa – sistematski smanjuje. Utjecaju akceleracije zbog djelovanja zemljine (sunčeve) mase na promjenu udaljenosti sonde treba, za naš problem, dodati još dva utjecaja nejednake važnosti. Utjecaj *širenja svemira* i utjecaj *mase cijelog svemira*

(*gravitacione deceleracije*) na njegovo širenje. Širenje svemira predstavlja „prirast“ prostora i može se uzeti u obzir korištenjem *Hubbleovog zakona* (6.1) odakle, uz pretpostavku da je  $H=const$  (što je u kozmološki kratkim vremenskim razmacima nedvoumno ispunjeno), slijedi

$$r = r_0 e^{H \cdot t} \quad (7.1)$$

$r_0$  – udaljenost sonde od Zemlje u čas  $t = 0$  (radius Zemlje)

odnosno

$$\Delta r = r - r_0 \approx r_0 \cdot H \cdot t \quad (7.2)$$

Tijekom 30.9 godina povećanje udaljenosti između sonde i Zemlje radi „prirasta“ prostora između njih je zanemarivih (uz  $H \approx H_0$ )

$$\Delta r \approx 1.44 \cdot 10^{-5} \text{ km}$$

odnosno, *kozmiološka akceleracija širenja* dobijena derivacijom *Hubbleova zakona* po vremenu (uz  $H=const$ ):

$$a_{\text{expand}} = r \cdot H^2 \quad (7.3)$$

je (na razmatranim daljinama sonde od Zemlje) zanemariva u odnosu na *gravitacionu deceleraciju*.

S druge strane, utjecaj *gravitacione deceleracije* na širenje svemira bit će po plankonskoj teoriji (vidi (32d/[3])):

$$a = -c \cdot H \quad (7.4)$$

i njega osjeća svaka masa u svemiru (vidi: *Napomena*) - pa i *Pioneer 10* (u smjeru središta planete) - što dovodi do smanjenja njegove udaljenosti od Zemlje. Iz prethodne relacije slijede konkretne vrijednosti *gravitacione deceleracije* kozmološkog širenja:

$$\begin{aligned} a_1 &= -4.7 \cdot 10^{-10} \text{ ms}^{-1} && (\text{plankonska teorija}) \\ a_2 &= -6.9 \cdot 10^{-10} \text{ ms}^{-1} && (\text{WMAP}) \\ a_3 &= -7.6 \cdot 10^{-10} \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

Lako se uočava da su dobijene vrijednosti istog reda veličine kao anomalna akceleracija, s tim da se  $a_3$  uklapa u opseg neodređenosti iste. Koristeći *II Newtonov zakon* i proračunata ubrzanja, možemo izračunati veličinu dodatne sile koja djeluje na sondu, te to usporediti sa pravom vrijednošću  $F_s = -2.11 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ . Predznak minus označava da rečena sila djeluje u suprotnom smjeru od gibanja sonde.

#### Napomena

Stavimo li se u geocentrični položaj (kao da je Zemlja „središte“ svemira) možemo izbjeći neugodno pitanje o utjecaju *gravitacione deceleracije* na Zemlju. Izgleda čudno, no i *Hubbleov zakon* implicitno pretpostavlja Zemlju kao središte vasione, od koje se svi objekti udaljavaju kao posljedica

kozmoškog širenja. Tada logično izgleda da gravitaciona deceleracija ima smjer suprotan odmicanju objekata.

## 7.1 PROMJENA UDALJENOSTI SONDE

Kombinirajući (2.4), odnosno (2.7), sa (7.4) dolazimo do relacija koje izražavaju promjenu udaljenosti

$$\Delta r = -\frac{cH(\Delta t)^2}{2} \quad (7.5)$$

odnosno, promjenu radijalne brzine sonde

$$\Delta v = -cH\Delta t \quad (7.6)$$

o proteklom vremenu. Iz gornjih odnosa slijedi:

$$(\Delta r)_1 = -225\,000\text{ km} \quad (\text{plankonska teorija})$$

$$(\Delta r)_2 = -329\,000\text{ km} \quad (\text{WMAP})$$

$$(\Delta r)_3 = -361\,000\text{ km}$$

odnosno, u prosjeku:

$$(\Delta r)_1 = -7300\text{ km god}^{-1} \quad (\text{plankonska teorija})$$

$$(\Delta r)_2 = -10\,650\text{ km god}^{-1} \quad (\text{WMAP})$$

$$(\Delta r)_3 = -11\,700\text{ km god}^{-1}$$

Za promjenu radijalne brzine *Pioneera 10* se dobija:

$$(\Delta v)_1 = -0.46\text{ ms}^{-1} \quad (\text{plankonska teorija})$$

$$(\Delta v)_2 = -0.68\text{ ms}^{-1} \quad (\text{WMAP})$$

$$(\Delta v)_3 = -0.74\text{ ms}^{-1}$$

što možemo usporediti sa (2.8).

Kako vidimo, rezultati naših proračuna, dajući ispravan red veličine razmatranog efekta, ovise o usvojenoj vrijednosti *Hubbleove konstante*.

## 8. PROCJENA HUBBLEOVE KONSTANTE I MASE SVEMIRA

Pišimo (7.4) u obliku (vidi (32d)/[3])

$$H^2 = \frac{|a|}{r}. \quad (8.1)$$

Smatrat ćemo da se *Sunčev sustav* nalazi na prednjoj fronti širećeg svemira. Tada je  $r$  – radius svemira. Uzmemo li vrijednosti  $a = -8.74 \cdot 10^{-10}\text{ ms}^{-2}$  (dobijenu analizom gibanja *Pioneera 10*), te  $r = 13.7 \cdot 10^9\text{ god}$  (dobijenu *WMAP* misijom) kao trenutno najpouzdanije, možemo procijeniti veličinu *Hubbleove konstante* na

$$H = 2.6 \cdot 10^{-18}\text{ s}^{-1} \approx 80\text{ km s}^{-1}\text{ Mpc}^{-1}, \quad (8.2)$$

dočim procjena na temelju (7.4) daje

$$H \approx 90 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \quad (8.3)$$

što se dobro slaže sa mjerenjima temeljenima na tzv. *Tully-Fischer relaciji* (Aaranson *et al*). Vrijednost za  $H$ , dobijena *plankonskom teorijom* ( $H = 48.6 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ) slaže se sa mjerenjima *A.Sandage-a* i *G.Tammann-a*. Primjetimo, da se vrijednosti za  $H$ , dobijene temeljem te relacije i veličine anomalne akceleracije, nalaze u granicama

$$76 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \leq H \leq 103 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}. \quad (8.4)$$

*WMAP* vrijednost za starost svemira, već sama po sebi omogućuje procjenu *Hubbleove konstante* na

$$H = 71 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}. \quad (8.5)$$

### Masa svemira

Kombinacijom spomenutih, najpouzdanijih podataka, dobije se i procjena mase svemira. Kako je, po plankonskoj teoriji

$$a = -\frac{GM(N)}{r(N)^2}, \quad (8.6)$$

slijedi:  $M(N) = 2.2 \cdot 10^{53} \text{ kg}.$  (8.7)

## 9. ZAKLJUČAK

Kako mi tumačimo podatke o anomaliji sonde *Pioneer 10*, oni ujedno predstavljaju dokaz – detektiran dapače, ne u dubinama svemira već u našoj neposrednoj blizini - o utjecaju gravitacije na usporavanje njegove ekspanzije. Time će se ubuduće morati povesti računa o ovom efektu i u raspravama o evoluciji te stabilnosti ograničenih dijelova svemira, poput našeg *Sunčevog sistema*.

U Čakovcu, 11.6.2008.

## LITERATURA

- [1] Anderson et al, „Study of the anomalous acceleration of *Pioneer 10* and *11*“, Phys.Rev. D65, 082004 (2002)
- [2] Atović Alek, „Anomalija *Pionira* i problem sa suvremenom naukom“, <http://www.astronomija.com.mk/> ili <http://www.astronomija.co.yu/>
- [3] L.Babić, „Prema kvantnoj kozmologiji“, 1999. (neobjavljeno), <http://planckon.nav.to/>
- [4] L.Babić, „Pogled preko Planckovog zida“, 2002. (neobjavljeno), <http://planckon.nav.to/>
- [5] Britt Robert Ray, „The Problem with Gravity: New Mission Would Probe Strange Puzzle“, <http://www.space.com/>
- [6] „*Pioneer* anomaly“, <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/Pioneer10.html>
- [7] Turyshev G. Slava et al, „The Pioneer Anomaly: Effect, new Data and new Investigation“, American Physical Society Meeting, St.Louis Missouri, 13.4.2008.

## SADRŽAJ

Isprika	1
Sažetak	1
1. OPIS POJAVE	1
2. ANOMALIJA <i>Pioneera 10</i> I PRINCIP NEZAVISNOSTI GIBANJA	2
3. KRETANJE <i>Pioneera 10</i> POD UTJECAJEM GRAVITACIJE	3
4. JE LI ANOMALIJA POVEZANA SA SUNČEVOM GRAVITACIJOM?	3
5. ZAPAŽANJA	4
6. EKSPANZIJA SVEMIRA	4
7. OBJAŠNJENJE ANOMALIJE <i>Pioneera 10</i>	5
-7.1 Promjena udaljenosti sonde	7
8. PROCJENA HUBBLEOVE KONSTANTE I MASE SVEMIRA	7
9. ZAKLJUČAK	8
Literatura	9
Sadržaj	10

### **THE *Pioneer 10* ANOMALY – POSSIBLE SOLUTION**

In this work we explain the anomaly of *Pioneer 10* as a result of the local manifestation (increase of the distance *Pioneer 10* – *Sun*) of cosmological phenomenon known as the Universe expansion. We think that this anomaly markedly manifests in bodies which are not gravitationally bonded with the *Solar system*, like interplanetary probes launched with second cosmic velocity or comets with parabolic, or hyperbolic, orbit around *Sun*.