

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 28 (2000/2001)

Številka 4

Strani 206-210, XIV

Marijan Prosen:

## MOTNJE V GIBANJU LUNE

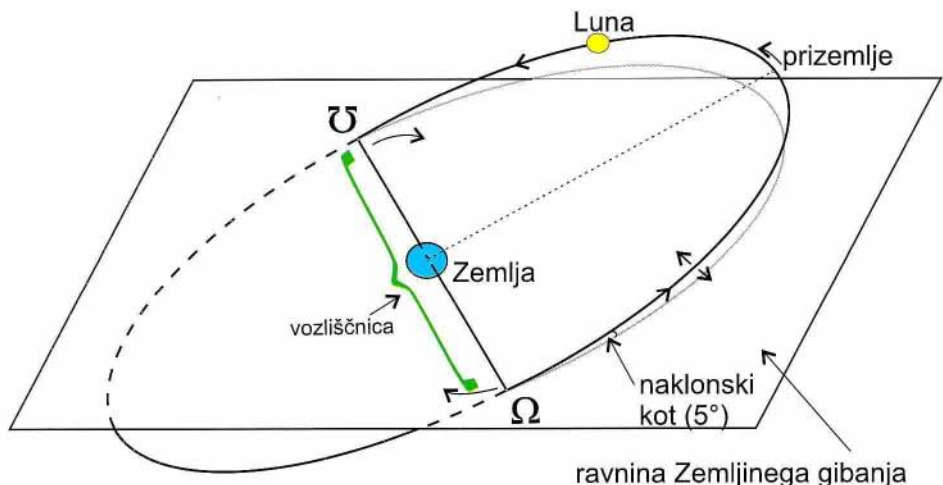
Ključne besede: astronomija, Luna, Zemlja, gibanje, drakonski mesec, anomalistični mesec, evekcija, sekularna akceleracija.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/28/1445-Prosen.pdf>

© 2001 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



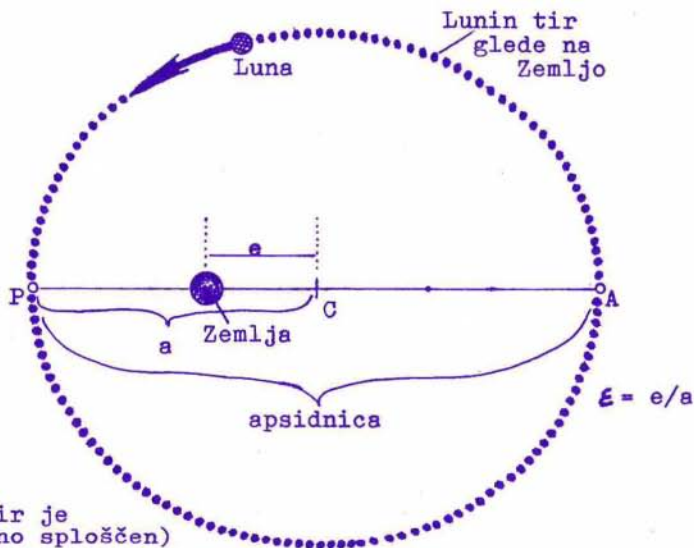
Slika 4. Ravnina Luninega tira oklepa kot  $5,2^\circ$  z ravnino Zemljinega tira gibanja okrog Sonca. Naklonski kot niha okoli osrednje lege. Označeni so: oba vozla (dvižni  $\Omega$  in padni  $\Upsilon$ ), vozliščnica in prizemlje. Nakazane so naslednje tri motnje: premikanje priončja v napredni smeri (v levo), premikanje vozlov v obratni smeri (v desno) in nihanje naklonskega kota (gor in dol). Sonce (moteče telo) si mislimo nekje daleč v desni smeri.

*Opomba:* Osnovne karakteristike (elementi) Luninega tira se torej neprestano spreminjajo zaradi motenj s strani privlačnosti Sonca in planetov ter tudi zaradi tega, ker Zemlja in Luna nista idealni krogli in enakomerno napolnjeni s snovjo, ampak imata različno razporejene mase na površju (gore, doline, oceane) in v notranjosti. Tako se spreminja ekscentričnost od 0,066 do 0,044 in se zato periodično spreminja tudi dolžina apsidnice. Za elipso se zdi, kot bi pulzirala – se razteguje in skrajšuje – tako da pride prizemlje celo do  $56 R_Z$  in odzemlje do  $64 R_Z$ . Prav tako niha naklonski kot ravnine Luninega gibanja k ravnini ekliptike od  $4^\circ 58'$  do  $5^\circ 20'$  (okoli povprečne vrednosti  $5^\circ 9'$ ). Premikanje prizemlja Luninega tira v napredni smeri je tudi neenakomerno. Točka prizemlja se obnaša tako, kot bi se pozibavala. Podobno se v obratni smeri premika vozliščnica, opisuje zamotano hkratno rahlo vrtenje in nihanje. Zaradi Sončeve privlačnosti in zaradi eliptičnega Luninega tira in premikanja Luninih vozlov se npr. trajanje sinodskega meseca spreminja v mejah od 29,25 dneva do 29,83 dneva.

## MOTNJE V GIBANJU LUNE

Pri Luni navadno obravnavamo le eno gibanje, rečemo mu kar kroženje okrog Zemlje. Dejansko se Luna giblje okrog Zemlje po elipsi. To razmeroma redko omenjamo, še redkeje pa, da se Luna vrti okrog svoje vrtilne osi. Da bi imela Luna še kakšno drugo, dodatno gibanje, o tem skorajda ne govorimo. Nekateri celo mislijo, da je o tem nevarno govoriti in pisati. Pogum velja.

Tako bomo tokrat spregovorili prav o nekaterih teh – drugih gibanjih. Predvsem zato, da bi spoznali, kako zamotano vesoljsko telo je Luna. Človek ji zlepa ni kos. Včasih se mi zdi, da je Luna bolj podobna okrog Zemlje gugaščemu se krompirju kot pa resnemu vesoljskemu telesu, ki naj bi se pokoravalo vsem vesoljskim zakonom gibanja, saj je njeno gibanje zelo nepravilno in neverjetno nepredvidljivo. Že njen vzd v določenem kraju težko napovemo.

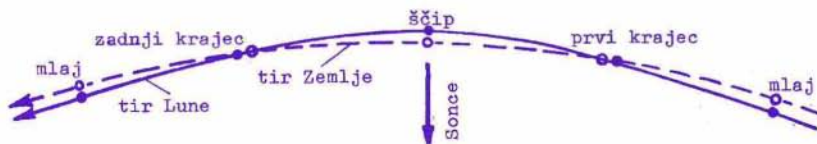


Slika 1. Luna se giblje okrog Zemlje po elipsi (ne po krogu), katere velika polos je  $a = 60,3 R_Z$ , ekscentričnost pa  $\varepsilon = \frac{1}{18}$ . V prizemlju je Luna bliže Zemlji za  $1/18$  velikosti velike polosi, to je za  $\varepsilon = a/18 = 60,3 R_Z/18 = 3,35 R_Z = 21\,000$  km, v odzemlju pa za toliko dlje (od srednje oddaljenosti).

Luna je zares velika uganka, a ne samo glede gibanja. (Vemo sicer, da Luna vzhaja in zahaja, da ima svoje navidezno dnevno gibanje od vzhoda

proti zahodu zaradi vrtenja Zemlje in da ima svoje navidezno mesečno gibanje glede na zvezde od zahoda proti vzhodu zaradi kroženja okrog Zemlje. Preberite si še prispevek *Premikanje Lune glede na zvezde*, Presek 27 (2000), 136.) Število Luninih skrivnosti se je z obiskom astronomov samo še povečalo.

Luna se giblje v napredni ali pozitivni smeri po eliptičnem tiru (ne po krožnici) okrog Zemlje. Srednja oddaljenost Lune od Zemlje, to je velika polos te elipse, meri  $a = 384\,400$  km, kar je približno  $60 R_Z$  – polmerov Zemlje. Ekscentričnost (mera za sploščenost) elipse je  $\varepsilon = e/a = 0,055 \approx \frac{1}{18}$ . Zato oddaljenost Lune od Zemlje niha med  $57 R_Z$ , ko je Luna najbližje Zemlji v prizemlju (perigeju)  $P$ , in  $63 R_Z$ , ko je v odzemlju (apogeju)  $A$ , od Zemlje najbolj oddaljeni točki Luninega tira.



Slika 2. Tir gibanja Lune in tir gibanja Zemlje glede na Sonce.

Povprečna hitrost Lune na tiru je 1 km/s. Ravnina tira Luninega gibanja je nagnjena proti ravnini tira Zemljinega gibanja (ekliptike) za dobrih  $5^\circ$ . Vse omenjene količine pa niso konstantne, ampak se s časom (periodično) spreminjajo.

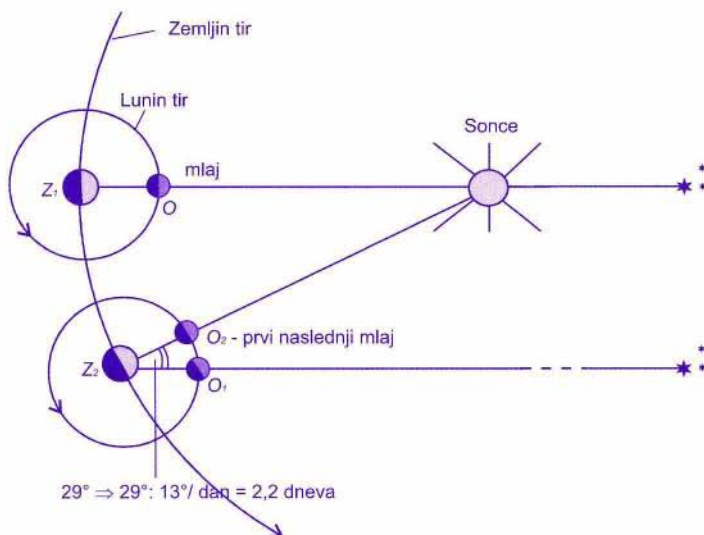
Obhodnemu času Lune navadno rečemo mesec. Glede na izbiro točke ali črte, po kateri opredelimo poln obhod Lune okrog Zemlje, pa razlikujemo različne mesece, ki so različno dolgi.

Čas med dvema zaporednima prehodoma Lune čez iste zvezde, to je 27,3 dneva, je sidarski ali zvezdni mesec (geocentrični vidik). To je tudi obhodni čas Lune okrog Zemlje (heliocentrični vidik). Čas, ki ga potrebuje Luna, da pride v enako navidezno ali kotno razdaljo (lego) glede na Sonce, je sinodski mesec (lunacija). Po enem sinodskem mesecu se zvrstijo vse mene in se spet pojavi ista mena. Sinodski mesec je za 2,2 dneva daljši od zvezdnega, in torej meri 29,5 dneva. Zakaj pride do te razlike, pojasnjuje slika 3.

Čas med dvema zaporednima prehodoma Lune čez pomladišče (točke na nebu, v katero pride Sonce ob spomladanskem enakonočju) pa se imenuje tropski mesec. Je nekoliko krajši kot zvezdni mesec, ker se pomladišče zaradi precesije pomika v smeri nasprotni gibanju Lune. Poznamo pa še druge mesece (glej dalje in razpredelnico).

ime meseca	obhod Lune okrog Zemlje glede na	trajanje dni
drakonski	isti vozlel	27,2122
tropski	pomladišče	27,3216
zvezdni	iste zvezde	27,3217
anomalistični	perigej	27,5545
sinodski	isto meno	29,5306
koledarski	(dogovor)	28 do 31

Preglednica mesecev in njihovo trajanje



Slika 3. Razlaga, zakaj sinodski mesec traja dlje od zvezdnega. Čas, v katerem pride Luna iz lege O v lego O<sub>1</sub>, je zvezdni mesec. Čas, v katerem pride Luna iz lege O v lego O<sub>2</sub>, pa je sinodski mesec. Da pride Luna iz O<sub>1</sub> v O<sub>2</sub>, mora na nebu preiti kotno razdaljo 29°, torej potovati še  $29^\circ : 13^\circ / \text{dan} = 2,2$  dneva.

Opazovalcu na ekliptički ravnini bi se zdelo, da Luna zaradi hkratnega gibanja Zemlje opleta okrog Zemlje, pri čemer se Luna oddalji od Zemlje le za 1/400 razdalje Zemlja-Sonce. Privlačna sila Sonca povzroči, da ostaja Lunin tir vedno konkaven.

Gledano z Zemlje, se zdi gibanje Lune zelo zapleteno. Luna je razmeroma blizu Sonca, ki s svojo ogromno maso povzroča v njenem gibanju močne spremembe oz. periodične odklone, imenovane *motnje* (perturbacije). Zaradi bližine Zemlje opazno vplivajo na gibanje Lune tudi relief



in neenakomerna porazdelitev mase v Zemljini notranjosti (Zemlja ni enakomerno gosta). Poznavanje porazdelitve mas na Zemlji je še vedno velika uganka. Iz gibanja umetnih satelitov, ki so zaradi večje bližine Zemlje bolj izpostavljeni vplivom Zemlje in manj Sonca, sicer o tem vemo vedno več, vendar še vedno premalo. Motnje v gibanju Lune so številne in jih težko pojasnimo, ker se prepletajo druga z drugo. Tu bomo o tem spregovorili le nekaž malega. Zaradi čim večje razumljivosti bomo snov primerno poenostavili.

Najprej omenimo premikanje vozliščnice, to je daljice, ki povezuje oba Lunina vozla. Premika se v nasprotni smeri, kot se giblje Luna. Čas med dvema zaporednima prehodoma Lune preko istega, npr. dvižnega vozla, vozlovski ali drakonski mesec, je zato za 0,11 dneva krajši od zvezdnega. Polni kot ( $360^\circ$ ) vozliščnica popiše v 18,6 leta, torej v enem letu približno  $20^\circ$ . (Glej tudi sliko 4 na II. strani ovitka.)

Premikanje apsidnice, to je daljice, ki povezuje spremenljivo odzemlje in spremenljivo prizemlje, kar je v bistvu spremenljiva velika os elipse, pa povzroča, da se npr. prizemlje Luninega tira premika v isti smeri, kot se giblje Luna, in sicer s periodo 8,9 leta. Zato Luna potrebuje 0,23 dneva več, kot meri zvezdni mesec, da ponovno pride v največjo bližino Zemlje. Ta obhodni čas imenujemo anomalistični mesec, ker Luna po tem času doseže spet isto anomalijo (neka količina, ki nastopa pri gibanju).

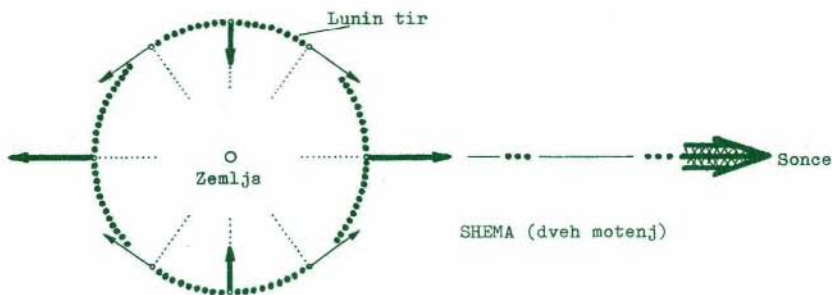
Na splošno pa se gibanje Lune pokorava zakonom gibanja teles v vesolju, to je Keplerjevim zakonom in gravitacijskemu zakonu. Luna se giblje nekoliko hitreje ali nekoliko počasneje od 1 km/s pač glede na to, ali je blizu prizemlja ali blizu odzemlja.

Zaradi periodičnih odmikov ( $\pm 6^\circ$ ) od zamišljenega enakomernega gibanja Lune se ta motnja imenuje *središčna enačba Lune* (velika neenakost v Luninem gibanju). Dodatna motnja, imenovana *evekcija*, povzroči približno odklik ( $\pm 1,3^\circ$ ) Lune od središčne enačbe in ima periodo okoli 32 dni. Manjša nihanja ( $40'$  oziroma  $11'$ ) povzročata *varijacija* s periodo pol sinodskega meseca in *letna enačba* (letna neenakost) s periodo enega leta. Še ena periodična motnja v Luninem tiru se imenuje *paralaktična neenakost* s periodo enega meseca. Neperiodična sprememba Luninega gibanja pa je *sekularna akceleracija*. Ta vpliva, da se Luna v sto letih za  $8''$  premakne v napredni smeri (v levo), kar bi bilo za pričakovati po teoriji.

Gibanje Lune na njenem tiru vidimo z Zemlje kot potovanje Luninega diska (krožca) v napredni smeri glede na zvezde na nebesni krogli. To navidezno gibanje hitro opazimo, saj se Luna v povprečju premakne od zahoda proti vzhodu kar za  $13^\circ$  na dan, to je za okoli  $0,5^\circ$  (Lunin zorni kot) na uro. Ker se to gibanje odvija nasproti navideznemu dnevnemu

gibanju neba, Luna vsakič vzide (zaide) dobrih 50 minut kasneje, kar pa je odvisno še od deklinacije Lune, to je njene kotne razdalje od nebesnega ekvatorja.

Ne glede na tako veliko zapletenost v gibanju Lune pa astronomi znajo po določenih metodah in z uporabo računalnika določiti njeno lego na tiru z veliko natančnostjo za tisočletja naprej in nazaj. Takšen primer je npr. napoved Luninih in Sončevih mrkov.



Slika 5. Zgled za dve motnji s strani Sonca; radialna motnja vpliva na sploščenost eliptičnega Luninega tira (ga stiska in vleče narazen), tangencialna pa Luno na njenem tiru narahlo pospešuje ali pa zavira (Luna se prvič giblje malo hitreje, drugič pa malo počasneje glede na povprečno gibanje). Zaradi preprostosti smo Lunin tir prikazali kar s krogom.

Značilno za Luno je še, da je njeno vrtenje vezano. To pomeni, da je vrtilni čas Lune okrog njene vrtilne osi enak obhodnemu času okrog Zemlje. Zato je Luna vedno obrnjena z isto stranjo proti Zemlji, o čemer se z lahkoto prepričamo z opazovanjem Lune kar s prostim očesom.

Poleg tega Luna še nekoliko niha – prikimava in odkimava – zaradi česar je z Zemlje vidnega malo več kot polovica njenega površja. O teh gibanjih – *Luninih kimanjih* – pa je tudi že pisal Presek **26** (1998/99) na strani 26.

Pri navideznem gibanju Luna tu in tam zakrije tudi kako zvezdo (okultacija). Zaradi točkastega videza so lege zvezd veliko bolj natančno izmerjene kot lege razsežnih vesoljskih teles. Zakritje zvezd tako lahko s pridom uporabimo za določitev natančne lege Lune. Kako, to pa je že povsem nova zgodba.