

Odredjivanje mase Jupitera pomoću njegovih satelita



Teorijski uvod

Jupiter i njegovi sateliti

Jupiter predstavlja jednu od osam planeta Sunčevog sistema i ujedno najmasivnije nebesko telo u Sunčevom sistemu posle Sunca. Peta je planeta po udaljenosti od Sunca i pripada grupaciji planeta koje su poznate kao gasoviti džinovci (poznate i kao planete Jupiterovog tipa ili Jovijanske planete), zajedno sa Saturnom, Uranom i Neptunom. Jupiter je četvrto najsjajnije nebesko telo gledano sa površine zemlje, posle Sunca, Meseca i Venere. Ime planete potiče od starorimskog boga Jupitera (starogrčki ekvivalent bogu Zevsu).

Jupiter je planeta sa najdebljim slojem atmosfere među svim planetama Sunčevog sistema. Ona se pruža do visine od 5 000 km (Zemljiva atmosfera ima visinu oko 3 000 km) i veoma je aktivna, turbulentna i karakterišu je veoma jaki vetrovi. Najkarakterističnija pojava vezana za atmosferu Jupitera jeste Velika crvena pega – gigantska oluja ovalnog oblika. Zbog velike brzine rotacije, planeta ima elipsoidni oblik i dosta je spljoštena na polovima, a ispupčena na ekvatoru.

Ova planeta ima 79 prirodnih satelita od kojih većina ima dimenzije manje od 10km u poluprečniku. Njegova četiri najveća i najsjajnija satelita, poznati su pod nazivom Galilejevi sateliti i tu grupu čine Io, Evropa, Ganimed i Kalisto. Svi Galilejevi sateliti vidljivi su sa Zemlje teleskopom, a imena su dobili po Zevsovim ljubavnicama iz grčke mitologije.



Slika1: Umetnički prikaz planete Jupiter



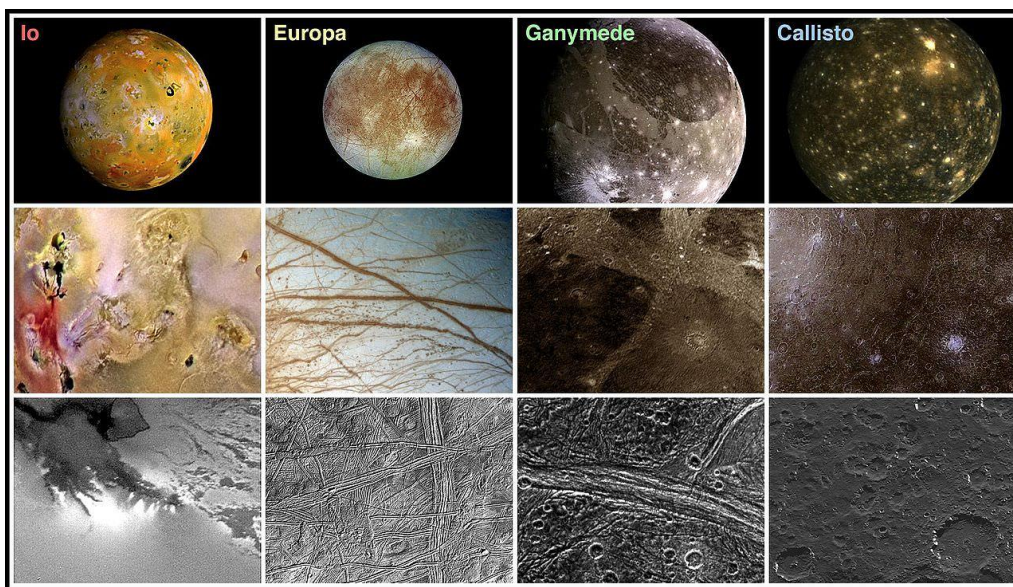
Slika2: Južni pol Jupitera

Io je treći po veličini Jupiterov mesec. Pored vulkanskih kaldera (morfološki oblik vulkana, sličan krateru, samo mnogo većih dimenzija), visokih i do 17km, Io ima raznovrsnu površinu – useke dubine do nekoliko kilometara, jezera otopljenog sumpora, nevulkanske planine, itd. Geološki je najaktivnije telo u Sunčevom sistemu, a njegova površina se stalno menja usled aktivnosti vulkana. Od ostalih Galilejevih satelita razlikuje se po tome što ima fizička svojstva donekle slična terestričkim planetama (Merkur, Venera, Zemlja, Mars), kao i po tome da gotovo nema vode.

Evropa, drugi po veličini mesec Jupitera, blistavo je narandžaste boje. Prvenstveno se sastoji od silikatnih stena i ima ledenu koru. Površina Evrope ima veoma čudan izgled, jedinstven u celom Sunčevom sistemu, i ubraja se u najsajjnije, što je posledica refleksije Sunčevih zraka od ledene površine. Njena površina se ubraja i medju najglatkije površine, jer za razliku od Ganimeda i Kalista, ima manjak kratera. Pokrivena je lavirintima linija i traka, koje podsećaju na Marskove kanale. Fotografije svemirske sonde Galileo ukazuju na to da se ispod površinskog sloja leda nalazi vodeni okean, čija je zapremina dva puta veća od zapremine vode na planeti Zemlji. Osim toga, detektovani su i oblaci vodene pare, za koje se smatra da su uzrokovani erupcijom gejzira.

Ganimed je najveći Jupiterov satelit i sedmi po udaljenosti od planete. Ujedno je i najveći satelit u Solarnom sistemu. Po prečniku je veći od Merkura, iako ima duplo manju masu. Njegova površina je kombinacija dve vrste terena – tamniji region koji je pun kratera i nešto mlađi, svetliji koji je označen pukotinama i brazdama. Ganimed je jedini satelit u Sunčevom sistemu za koji se zna da poseduje magnetosferu koja se najverovatnije stvara konvekcijom u jezgru.

Kalisto je drugi po veličini Jupiterov satelit, a treći po veličini u Solarnom sistemu. Prečnik mu je 99% planete Merkur, ali mu je masa tri puta manja. S obzirom da je poslednji po udaljenosti od svih Galilejevih satelita, Kalistova površina ima najmanji uticaj Jupiterove magnetosfere. Za razliku od ostalih Galilejevih satelita, Kalisto ne tri primetan plimski talas.



Slika3: Galilejevi sateliti

Keplerovi zakoni

U ovoj vežbi koristimo treći Keplerov zakon kako bismo izračunali masu Jupitera pomoću njegovih satelita, pa je najpre neophodno upoznati se sa Keplerovim zakonima.

Prvi Keplerov zakon glasi da se sve planete opisuju oko Sunca eliptične putanje, a u zajedničkoj žiži ovih elipsi nalazi se Sunce.

Drugi Keplerov zakon glasi da radijus-vektor Sunce-planeta opisuje, u jednakim vremenskim intervalima, jednake površine.

Treći Keplerov zakon glasi da su kvadrati perioda obilaska planeta oko Sunca T srazmerni kubovima velikih poluosa njihovih putanja R. Matematički oblik ovog zakona je:

$$\frac{R_1^3}{T_1^2} = \frac{R_2^3}{T_2^2}$$

Opšti oblik trećeg Keplerovog zakona glasi:

$$\frac{R^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} M$$

U ovom izrazu, G predstavlja univerzalnu gravitacionu konstantu, a M masu planete.

Postupak izvodjenja vežbe

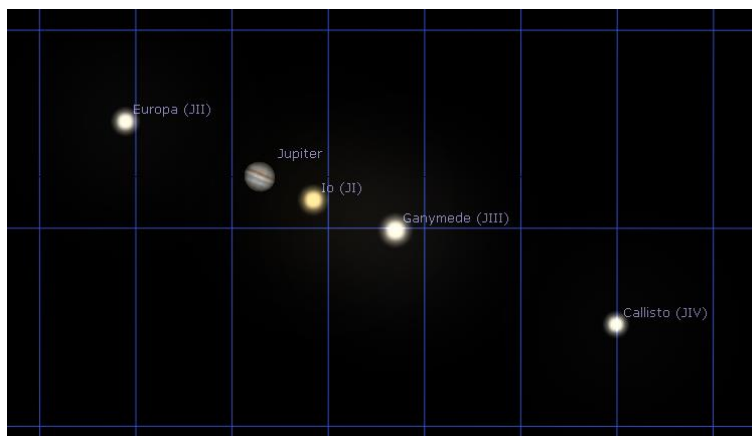
1. Pronaći potrebne podatke o Jupiteru i Galilejevim satelitima – Io, Evropa, Ganimed Kalisto, kako bi popunili datu tabelu. Preporučujemo korišćenje NASA sajta - <https://solarsystem.nasa.gov>

Objekat	Masa (kg)	Radijus (km)	Gustina (g/cm ³)
Jupiter			
Io			
Evropa			
Ganimed			
Kalisto			

Tabela1: Osnovni podaci za Jupiter i njegove satelite

2. Za drugi deo vežbe potrebna vam je instalirana aplikacija Stellarium.

- Kada prvi put uključite aplikaciju potrebno je uključiti opciju „Angle Measure“ – sa leve strane ekrana nalazi se opcija „configuration window“ (možete ga otvoriti i klikom na dugme F2), zatim kliknete na „plugins“, gde ćete sa leve strane pronaći opciju „angle measure“. Kada otvorite tu opciju, potrebno je obeležiti „load at startup“, a zatim restartovati aplikaciju Stellarium.
- Sledeći korak jeste pronalaženje Jupitera – sa leve strane ekrana naći ćete opciju „search window“ (možete ga otvoriti i klikom na dugme F3), a zatim u pretraživač upišete Jupiter. Radi lakšeg posmatranja poželjno je isključiti opcije „ground“ (na tastaturi kliknete slovo G) i „atmosphere“ (na tastaturi kliknete slovo A). Ove opcije dostupne su i na dnu ekrana. Kako biste uvećali sliku koristite opcije „Ctrl“ + Up.
- Potrebno je uključiti i sledeće opcije koje se nalaze na dnu ekrana, a to su „equatorial grid“ (na tastaturi kliknete slovo E), zatim „switch between equatorial and azimuthal mount“ (na tastaturi Ctrl + M), kao i opciju „centre on selected object“. Ove opcije vam uključuju koordinatnu mrežu, radi lakšeg praćenja kretanja satelita, kao i praćenje selektovanog objekta – selektovati Jupiter kao objekat.



Slika1: Prikaz ekrana u aplikaciji Stellarium nakon uradjenih predhodnih koraka

- Izaberite jedan od četiri Galilejeva satelita i odredite njegov položaj u odnosu na Jupiter. Zabeležite datum i vreme. Sada je potrebno odrediti period tog satelita – odnosno vreme koje mu je potrebno da napravi pun krug oko Jupitera. To ćemo uraditi tako što ćemo posmatrati izabrani satelit i kada se vrati u polaznu tačku, zabeležiti krajnje vreme. S obzirom da je period veliki, možemo ubrzati kretanje satelita klikom na dugme „increase time speed“ ili klikom na slovo L na tastaturi. U trenutku kada satelit napravi pun krug, možete pauzirati sliku klikom na dugme „set normal time rate“ ili na tastaturi klikom na slovo K.

Period kruženja satelita oko Jupitera dobićemo kada oduzmemo ova dva vremena:

$$T = \text{krajnje vreme} - \text{početno vreme}$$

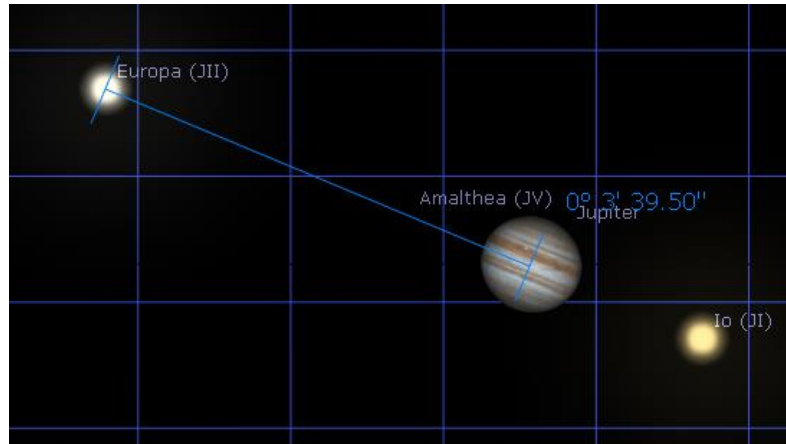
Primer: Početno vreme: 18.08.2021. u 13h 56min 47s

Krajnje vreme: 20.08.2021. u 08h 39min 55s

Period: $T = 1\text{dan } 18\text{h } 43\text{min } 8\text{s}$

(Za računanje razlike vremena možete koristiti i sajt <https://www.timeanddate.com/date/timeduration.html>)

- Sledeći korak jeste određivanje ugaonog rastojanja između Jupitera i izabranog satelita. Bitno je da slika ostane pauzirana kada ste odredili period satelita. Kliknite na opciju „angle measure“ koja se nalazi na dnu ekrana i povučite liniju od centra satelita do centra Jupitera. Na ekranu će vam se pojaviti vrednost ugaonog rastojanja. S obzirom da je ugaono rastojanje jako malo, ono se može aproksimirati kao ugao koji obrazuju satelit i Jupiter u odnosu na Zemlju.



Slika2: Odredjivanje ugaonog rastojanja Jupitera od izabranog satelita (u ovom slučaju od Evrope)

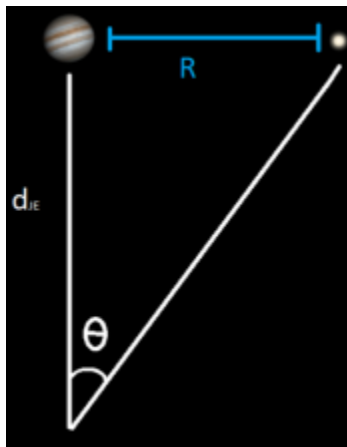
- Rastojanje od Jupitera do izabranog satelita računa se po formuli (videti sliku3) :

$$R = d_{JE} \cdot \sin \theta$$

gde je R – rastojanje od Jupetra do satelita

d_{JE} – rastojanje od Jupitera do Zemlje (ovaj podatak se može naći u Stellarium-u)

θ – ugaono rastojanje



Slika3: Položaj Zemlje, Jupitera i satelita

- Poslednji korak u ovoj vežbi jeste računanje mase Jupitera. To ćemo uraditi pomoću trećeg Keplerovog zakona:

$$M_J = \frac{4\pi^2 R^3}{G T^2}$$

Očekivana vrednost mase Jupitera je $M_J = 1,8982 \cdot 10^{27} \text{ kg}$.