



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
DEPARTMAN ZA GRAĐEVINARSTVO I GEODEZIJU  
GEODEZIJA I GEOINFORMATIKA



# OSNOVE GEONAUKA

## Zemlja i njeno kretanje

Doc. dr Mehmed Batilović, mast. inž. geodez.

Novi Sad, 2023/2024

1

## Planeta Zemlja

---

- Planeta Zemlja – veoma kompleksa kosmička tvorevina nastala prije 4,55 milijardi godina.
- Zemlja je veoma dinamična planeta, kako na svojoj površi, tako i u unutrašnjosti.
- Zemljina unutrašnjost je na osnovu hemijskog sastava, agregatnog stanja, specifične težine i brzine prostiranja seizmičkih talasa, izdiferencirana na nekoliko slojeva:
  - Zemljina kora;
  - omotač jezgra;
  - jezgro.

2

## Planeta Zemlja

---

- Zemljina atmosfera, koju čine hemijski elementi azot (78,08%), kiseonik (20,95%) i argon (0,93 %), predstavlja zaštitni sloj za živi svet jer apsorbuje štetna zračenja i raznovrsne čestice koje dejstvom gravitacione sile Zemlje bivaju privučene iz kosmosa.
- Mesec – prirodni satelit Zemlje.
- Mesec kruži oko Zemlje po eliptičnoj putanji, čija ravan zaklapa ugao od  $5,09^\circ$  u odnosu na ravan ekliptike, na prosečnom rastojanju od 384400 km.
- Period obilaska Meseca oko Zemlje iznosi 27 dana i 19 minuta.

3

## Zemlja i Mesec

---



4

## Kretanje Zemlje

---

- Planeta Zemlja se istovremeno kreće na sledeći način:
  - zajedno sa galaksijom Mlečni put u odnosu na druge galaksije;
  - zajedno sa Suncem u okviru galaksije Mlečni put;
  - oko Sunca zajedno sa ostalim planetama;
  - oko svoje trenutne ose rotacije.
- Za opisivanje godišnjeg i dnevnog kretanja Zemlje koriste se dva potpuno različita koncepta:
  - godišnje kretanje – nebeska mehanika;
  - dnevno kretanje – Zemlja se posmatra kao masivno telo.

5

## Zemljino godišnje kretanje

---

- Dimenzije Zemlje i drugih nebeskih tela smatraju se beznačajnim u poređenju sa veličinom Sunčevog sistema.
- Keplerovi zakoni kretanja planeta:
  - I. Putanje planeta su eliptične, sa Suncem u jednoj ožiži.
  - II. Radijus vektor planete (linija koja spaja planetu i Sunce) u jednakim vremenskim intervalima opisuje jednake površine.
  - III. Kvadrati perioda obilaska planeta ( $t$ ) odnose se kao kubovi velikih poluosa ( $a$ ) eliptičnih putanja:

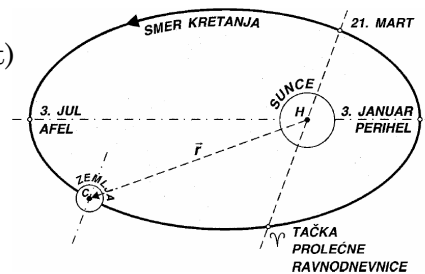
$$\frac{t^2}{a^3} = \text{const.}$$

6

## Keplerovi zakoni kretanja planeta

- Ekliptika – ravan Zemljine orbite oko Sunca.
- U stvarnosti Zemljina orbita nije idealno eliptična niti leži u jednoj ravni zbog uticaja drugih planeta i Meseca.
- Budući da su ovi poremećaji jako mali u poređenju sa dimenzijama orbite, u praktičnim primenama mogu se zanemariti.
- Ekscentricitet (spljoštenost) Zemljine orbite:

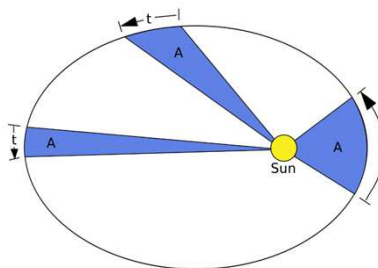
$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} = 0,01673.$$



7

## Keplerovi zakoni kretanja planeta

- Zbog drugog Keplerovog zakona Zemlja se kreće brže kada je bliža Suncu, a sporije kada je dalja od njega.
- U afelu je najmanja brzina kretanja Zemlje.
- U perihelu je najveća brzina kretanja Zemlje.
- Zvezdana godina – vreme za koje planeta Zemlja obiđe oko Sunca.



8

## Keplerovi zakoni kretanja planeta

---

- Na putanji planete oko Sunca važi jednakost između centrifugalne sile planete i gravitacione sile između masa ta dva tela:

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2},$$

gde je  $m$  masa planete,  $M$  masa Sunca,  $r$  rastojanje između planete i Sunca, a  $G$  gravitaciona konstanta koja iznosi  $6,67 \cdot 10^{-11} \text{N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$ .

- Na osnovu prethodnog izraza može se napisati izraz za brzinu kretanja planete oko Sunca:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}.$$

9

## Keplerovi zakoni kretanja planeta

---

- Trajanje jedne revolucije planete oko Sunca ( $\tau$ ) jednako je količniku dužine putanje planete i brzine:

$$\tau = \frac{2r\pi}{\sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}} \Rightarrow \tau^2 = \frac{4r^2\pi^2}{\frac{G \cdot M}{r}} = \frac{4r^3\pi^2}{G \cdot M},$$

odnosno

$$\frac{\tau^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M}.$$

- Na ovaj način izveden je numerički izraz za treći Keplerov zakon koji je korektan i za eliptične putanje ( $r$  predstavlja veliku poluosu  $a$ ).

10

## Keplerovi zakoni kretanja planeta

- Ukoliko se rastojanje planete do Sunca izražava u astronomskim jedinicama (AJ), a period njene rotacije oko Sunca u zemaljskim godinama, onda važi  $\tau^2 = r^3$ .
- Mala odstupanja količnika  $\tau^2/r^3$  predstavljaju rezultat interakcije konkretne planete sa ostalim planetama.

Planeta	P (god.)	a (AU)	$\tau^2$	$r^3$	$\tau^2/r^3$
<i>Merkur</i>	0,24	0,39	0,06	0,06	<b>1,00</b>
<i>Venera</i>	0,62	0,72	0,39	0,37	<b>1,05</b>
<i>Zemlja</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	<b>1,00</b>
<i>Mars</i>	1,88	1,52	3,53	3,51	<b>1,01</b>
<i>Jupiter</i>	11,9	5,20	142	141	<b>1,01</b>
<i>Saturn</i>	29,5	9,54	870	868	<b>1,00</b>
<i>Uran</i>	84,0	19,1	7056	6968	<b>1,01</b>
<i>Neptun</i>	165	30,0	27225	27000	<b>1,01</b>
<i>Pluton</i>	248	39,3	61504	60698	<b>1,01</b>

1 AJ (AU) – srednje rastojanje između Zemlje i Sunca (149.597.890 km)

11

## Titius–Bodeovo pravilo

- Srednje rastojanje planete od Sunca, izraženo u AJ, može se definisati sledećom relacijom:

$$D = \frac{3 \cdot 2^{n-2} + 4}{10}, \text{ za } n \geq 2,$$

gde je  $n$  indeks planete.

- Prilikom određivanja indeksa planete treba uzeti u obzir i asteroidni pojas koji se nalazi na mestu pete planete u odnosu na Sunce.
- Za planetu Merkur važi:  $n = 1, D = 0,4$ .
- Titius-Bodeovo pravilo važi za sve planete Sunčevog sistema osim za Neptun i Pluton koji predstavljaju dve najudaljenije planete od Sunca.

12

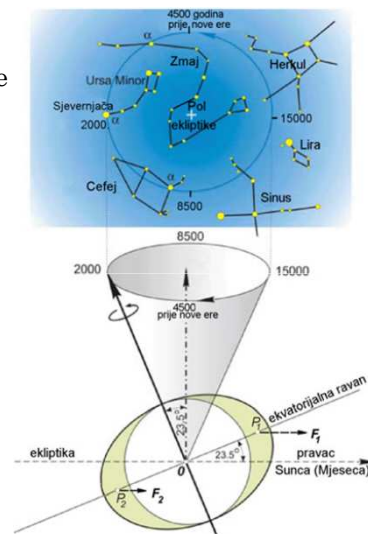
## Sunčev sistem

	Rastojanje (astr.jed.)	Poluprečnik (Zemlja=1)	Masa (Zemlja=1)	Rotacija oko ose (Zemlja=1)	Broj mjeseca	Nagib orbite	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )
SUNCE	---	109	332.800	25-36	9	---	1,410
Merkur	0,39	0,38	0,05	58,8	0	7	5,43
Venera	0,72	0,95	0,89	244	0	3,394	5,25
Zemlja	1,0	1,00	1,00	1,00	1	0,000	5,52
Mars	1,5	0,53	0,11	1,029	2	1,850	3,95
Jupiter	5,2	11	318	0,411	16	1,308	1,33
Saturn	9,5	9	95	0,428	20	2,488	0,69
Uran	19,2	4	17	0,748	15	0,774	1,29
Neptun	30,1	4	17	0,802	8	1,774	1,64
Pluton	39,5	0,18	0,002	0,267	1	17,15	2,03

13

## Zemljina rotacija, precesija i nutacija

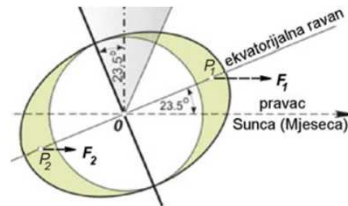
- Stvarni oblik Zemlje – rezultat balansa između sopstvene gravitacije i centrifugalnog efekta rotacije.
- Obrtna osa Zemlje nagnuta je u odnosu ekliptiku za ugao od  $66,5^\circ$ .
- Tokom godine osa rotacije Zemlje zauzima različite položaje u odnosu na Sunce što uslovljava promene u načinu osunčavanja Zemljine površi.
- Apsolutni položaj ose rotacije Zemlje menja se tokom perioda od 25730 g. (Platonska godina), opisujući konus čiji ugao u temenu iznosi  $47^\circ$ .



14

## Zemljina rotacija, precesija i nutacija

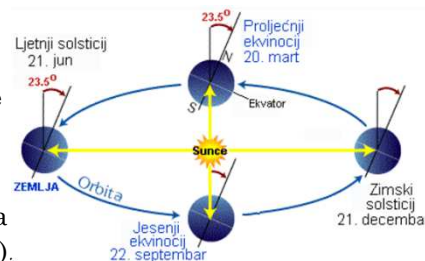
- Razlog pomenutog kretanja ose rotacije nalazi se u činjenici da Zemlja ima ekvatorijalno izobličenje koje je rezultat delovanja centrifugalne sile tokom rotacije Zemlje oko svoje ose.
- Gravitacione sile Meseca, Sunca i ostalih nebeskih tela deluju na ovo izobličenje u tačkama  $P_1$  i  $P_2$  formirajući sile  $F_1$  i  $F_2$ .
- Budući da je  $F_2$  manje od  $F_1$ , potpuno je jasno da dejstvo gravitacionih sila ovih tela nastoji da Zemlju zarotira tako da se ekvatorijalno izobličenje nađe u ravni u kojoj leže centri masa Zemlje i ovih tela.
- Lunisolarna precesija – zakretanje ose rotacije Zemlje i njeno kretanje po izvodnici kupe usled dejstva gravitacionih sila Meseca i Sunca.



15

## Zemljina rotacija, precesija i nutacija

- Budući da pravac ose rotacije astronomski definiše kada će doći do smene godišnjih doba, precesija ose će usloviti da svaka naredna sezona početi na različitom mestu na orbiti Zemlje oko Sunca.
- Precesija ose uzrokuje i promenu orijentacije orbite Zemlje oko Sunca tokom vremena koje se naziva perturbacija orbite ili precesija ekvinočija.
- Ekvinocij – ravnodnevnica koja se javlja u preseku ravni ekliptike i ravni sunčevog ekvatora.
- Solsticij – momenat kada je osa rotacije Zemlje najviše nagnuta ka Suncu (letnji) ili od Sunca (zimski).

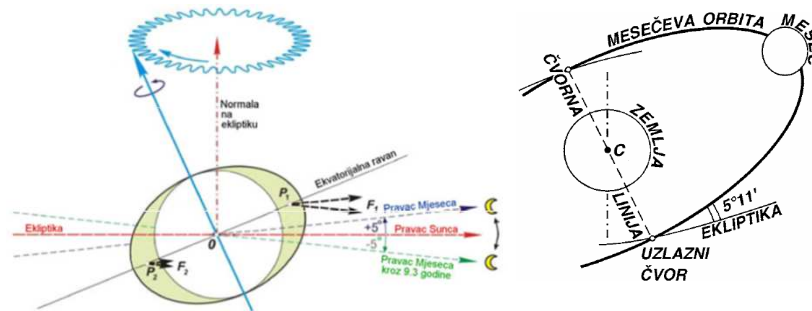


16



## Zemljina rotacija, precesija i nutacija

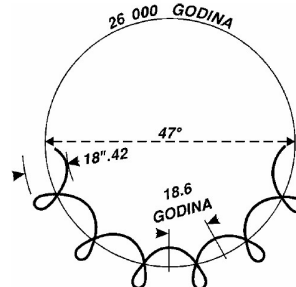
- Mesec se kreće oko Zemlje po eliptičnoj putanji čija ravan sa ravni ekliptike zaklapa ugao od  $5^{\circ}11'$ .
- Presek ravni Mesečeve orbite i ravni ekliptike zove se čvorna linija, koja za 18.6 godina načini pun krug.



17

## Zemljina rotacija, precesija i nutacija

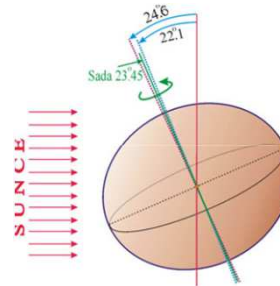
- Periodične promene Mesečevog uticaja, u vremenu od 18.6 godina, izazivaju dodatnu komponentu u precesiji zemljine ose koja se zove nutacija.
- Nutacioni konus je za razliku od precesionog mnogo uži, ugao kod njegovog temena iznosi svega  $18.42''$  u poređenju sa  $47^{\circ}$  kod precesionog konusa.
- Sva kretanja Zemlje imaju direktan uticaj na astronomska i satelitska merenja koja se izvode sa Zemlje, tako da se kao takva moraju uzeti u obzir.



18

## Zemljina rotacija, precesija i nutacija

- Usled dejstva nebeskih tela sunčevog sistema, Meseca i Sunca, nagib ose rotacije Zemlje menja se u odnosu na ravan ekliptike.
- Ugao između ravni ekvatora i ekliptike manje se u intervalu od  $22,1^\circ$  do  $24,5^\circ$  sa periodom od 41 hiljadu godina.
- Promene nagiba ose rotacije imaju značajan uticaj na klimatske promene jer direktno utiču na stepen osunčanosti površi Zemlje.
- Milutin Milanković prvi je uočio i matematički eksplicitno izrazio značaj i veličinu uticaja svih promena karakteristika rotacije Zemlje na dugogodišnje promene klime.



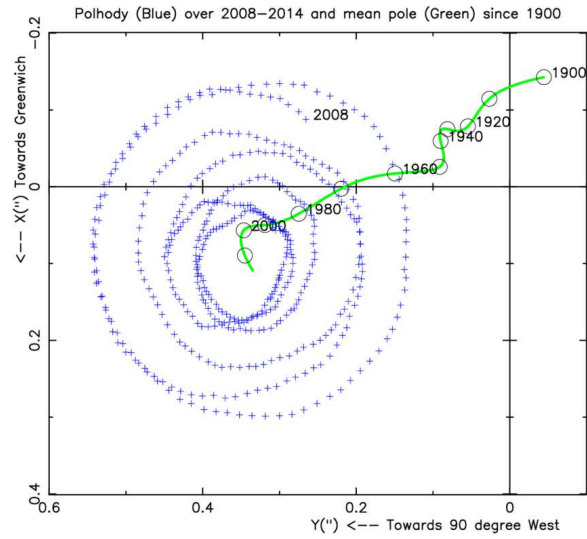
19

## Zemljina slobodna nutacija

- Zemljina slobodna nutacija – nutacija bez uticaja sprega sila.
- Usled neravnomernog rasporeda masa u unutrašnjosti same Zemlje i kompleksne interakcije između rotirajućeg tečnog omotača, tečnog spoljašnjeg jezgra i čvrstog unutrašnjeg jezgra Zemlje, osa rotacije Zemlje se ne poklapa sa osom simetrije, odnosno osom najvećeg momenta inercije.
- Pomenuta pojava se naziva Čandlerovim oscilacijama ose i ima period od 431 dana.
- Međunarodna astronomska unija (*International Astronomical Union – IAU*) osnovala je službu za opažanje stvarnog kretanja pola još davne 1899. godine.

20

## Zemljina slobodna nutacija



21

PITANJA?

22