

КУРС АСТРОНОМИЈЕ ЗА ПОЧЕТНИКЕ

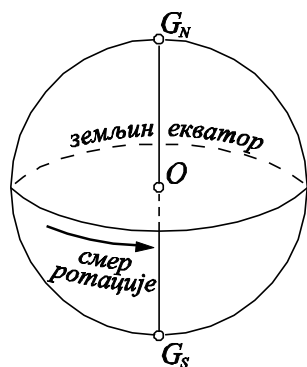
Лекција 2: ЗЕМЉИНА РОТАЦИЈА

Александар Оташевић

Астрономско друштво „Пуђер Бошковић”, Београд; e-mail: al.otasevic@gmail.com

Земљина ротација и дневна ротација небеске сфере

Под **Земљиним ротацијом** подразумеваћемо њено обртно кретање око једне праве линије, **Земљине осе ротације** G_NOG_S (слика 1), која пролази кроз њено средиште O . Ова линија пробија Земљину површину у два међусобно супротним тачкама – **северном** G_N и **јужном географском полу** G_S . Северни је онај из кога гледано Земља ротира у тзв. **директном смеру** – смеру супротном смеру кретања казаљке на часовнику, а јужни онај из кога гледано Земља ротира у смеру кретања казаљке на часовнику, тзв. **ретроградном смеру**. Период Земљине ротације износи 23^h56^m .



Слика 1: Земљина ротација.

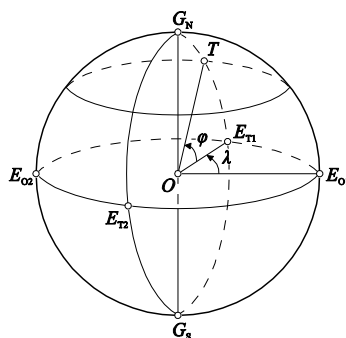
Нека имамо раван која садржи Земљино средиште и постављена је под правим углом у односу на Земљину осу ротације. Круг по коме та раван сече Земљину површину назива се **Земљин екватор**. Он дели Земљину лопту на **северну** – ону на којој је северни географски пол и **јужну Земљину полулопту** – ону на којој је јужни географски пол.

Посматрач се налази на Земљи, тако да и он учествује у њеној ротацији – Земља га, једноставно, носи са собом. Но, пошто је та ротација изузетно равномерна (оса, смер и брзина су јој такоређи непроменљиви), он је не осећа – чини му се да Земља мирује, и он сам са њом, а да се, у ствари, обрће небеска сфера, са истоветним периодом као Земља (23^h56^m), али у супротном смеру него она, дакле у ретроградном гледано из северног, а директном гледано из јужног географског пола. Ситуација је слична оној када смо у возу који се равномерно креће, па нам се, док гледамо кроз прозор, на тренутке учини да воз мирује, а да се пејзаж креће у супротном смеру. Ово обртање небеске сфере врши се око исте осе око које и Земљина ротација, а називамо га **дневна ротација небеске сфере** (дневна због периода од приближно једног дана). Оно је ПРИВИДНО и само је последица Земљине ротације, која је ПРАВО обртање.

Размислите: да ли за посматраче са било ког места на северној Земљиној полулопти небеска сфера ротира у истом смеру и, ако то чини, у ком? Исто то питање за случај јужне Земљине полулопте.

Географски координатни систем

Земљину површину ћемо сматрати сферном. Кругови на њој паралелни Земљиним екватору називају се **Земљини паралели**. Има их бесконачно много и пречници им опадају са удаљавањем од екватора. Кругове на Земљиној површини, чија раван садржи Земљину ротациону осу, називамо **Земљиним меридијанима**. Меридијан (слика 2)



Слика 2: Географска ширина и дужина.

$E_{O1}G_N E_{O2}G_S E_{O1}$ који пролази кроз старо здање Краљевске астрономске опсерваторије у лондонском предграђу Гринич проглашен је почетним за рачунање географских дужина и назива се **гриничким меридијаном**.

Питања за Вас: под којим углом у односу на Земљин екватор и паралеле су постављени Земљини меридијани и колико их има?

У циљу одређивања положаја тачке на Земљи користе се систем географских координата: географске ширине, географске дужине и надморске висине.

Географска ширина неке тачке T (слика 2) је угао φ чије је теме центар Земље O , чији један крак пролази кроз тачку T , а други кроз пресек E_{T1} Земљиног екватора $E_{O1}E_{T1}E_{O2}E_{T2}E_{O1}$ и меридијана $TG_N E_{T2}G_S E_{T1}T$ тачке T , ближи тачки T . Географска ширина се мери од екватора ка географским половима и може имати вредности од 0 , на екватору, до 90° на северном G_N , одн. -90° на јужном географском полу G_S . Географске ширине на северној Земљиној полулопти су **северне географске ширине** и имају позитивне вредности, а оне на јужној Земљиној полулопти су **јужне географске ширине** и имају негативне вредности.

Географска дужина тачке T је угао λ чије је теме центар Земље, чији један крак пролази кроз тачку E_{T1} , а други кроз пресек E_{O1} гриничког меридијана са екватором, ближи тачки T . Географска дужина се мери у равни екватора, од тачке E_{O1} на обе стране до пресека E_{O2} гриничког меридијана са екватором, даљег од Гринича и може имати вредности од 0 , у E_{O1} , до $\pm 180^\circ$ у E_{O2} . Мерене од E_{O1} у смеру Земљине ротације географске дужине су позитивне и тзв. **источне географске дужине**, а у супротном смеру негативне и тзв. **западне географске дужине**.

Надморска висина неке тачке је вертикално растојање те тачке од морског нивоа. Мери се дуж вертикале, од нивоа мора до центра Земље и од нивоа мора ка зениту и може имати вредности од 0 , на нивоу мора, до $-R$ (R је полупречник Земље) у центру Земље и од 0 до $+\infty$ у смеру зенита. За тачке испод морског нивоа надморске висине су негативне, а за оне изнад позитивне.

Елементи небеске сфере изведени из Земљине ротације

Земљину осу ротације називамо и **небеском поларном осом**, $P_N G_S O G_N P_N$ (слика 3), јер око ње и небеска сфера врши своју привидну дневну ротацију.

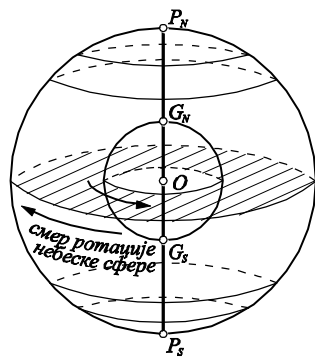
Тачке продора ове осе кроз небеску сферу називамо **северни** P_N и **јужни небески пол** P_S . Северни је онај из кога гледано небеска сфера врши дневну ротацију у ретроградном, а јужни онај из кога гледано она врши ту ротацију у директном смеру (супротно него код географских полова и Земљине ротације јер небеска сфера ротира у смеру супротном смеру Земљине ротације). Као што се са слике 3 види, северни небески пол је изнад северног географског, а јужни небески изнад јужног географског пола. Северни небески пол се налази у непосредној близини Северњаче (коју можете пронаћи на начин описан у Лекцији 1).

Круг по коме раван Земљиног екватора сече небеску сферу назива се **небески екватор**. Он дели небеску сферу на **северну** – ону на којој је северни небески пол и **јужну небеску полусферу** – ону на којој је јужни небески пол.

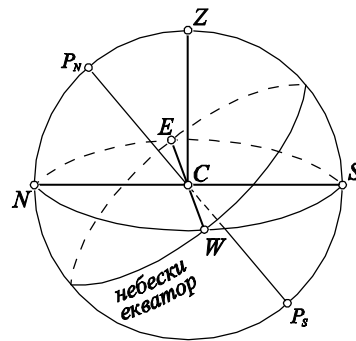
Кругови небеске сфере паралелни небеском екватору називају се **небеским паралелима**. Има их бесконачно много и, како је показано на слици 3, пречници им опадају са удаљавањем од небеског екватора, тј. са приближавањем небеским половима.

Пошто је Земљина површина сферна, гледано са различитих места на Земљи небеска поларна оса (а тако и небески екватор) заклапа различите углове (φ_1 , φ_2) са равни правог хоризонта NS (небески екватор: $90^\circ - \varphi_1$, $90^\circ - \varphi_2$), што се види на слици 4 (узгред, тај угао је једнак географској ширини места посматрања; докажете то). Са слике се види да

су небеска поларна оса CP_N и Земљина ротациона оса OG_N раздвојене, али се та њихова раздвојеност може занемарити јер никада није већа од Земљиног полупречника (OC), који је занемарљив у односу на бесконачно велики полупречник небеске сфере, тако да ће гледано са Земље изгледати да се обе ове осе у бесконачности, а то је на небеској сфери, састају у истој тачки – северном небеском полу P_N на једној, одн. јужном небеском полу P_S на супротној страни. Дакле, може се слободно рећи да се оне међусобно поклапају, тј. да се ради о једној јединој оси.



Слика 3: Небеска поларна оса, небески полови, небески екватор и небески паралели.

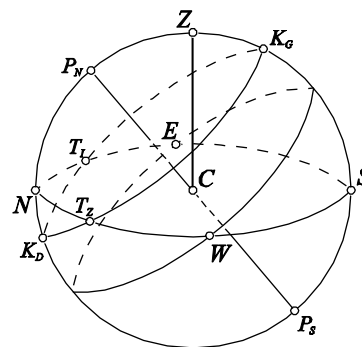


Слика 5: Меридијан, јужна, северна, источна и западна тачка хоризонта.

на ка северном географском полу. Тачка E на правом хоризонту, удаљена 90° у ретроградном смеру од северне тачке, назива се **источна**, а она (W) удаљена 90° у истом смеру од јужне – **западна тачка хоризонта**. Прави хоризонт и небески екватор се међусобно секу у источној и западној тачки хоризонта. Стране света **север**, **југ**, **исток** и **запад**, тим редом, дефинисане су смеровима ка северној, јужној, источној и западној тачки хоризонта, респективно.

Небеска поларна оса, небески полови, небески екватор, небески паралели, меридијан и северна, јужна, источна и западна тачка хоризонта су неки од елемената небеске сфере изведених из Земљине ротације.

Последице дневне ротације небеске сфере



Слика 6: Излаз, залаз и кулминације небеског тела.

Под дневном ротацијом небеске сфере подразумева се, у ствари, привидна дневна ротација небеских тела на њој, коју узрокује стварна Земљина ротација. Како се та ротација обавља око небеске поларне осе, то се свако небеско тело (слика 6) том приликом креће по једном небеском паралелу

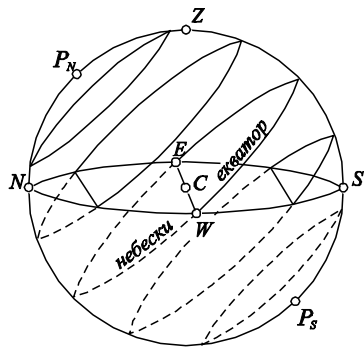
$T_1 K_G T_2 K_D T_1$, у, како смо то раније већ истакли, ретроградном смеру посматрано из северног P_N , а супротно посматрано из јужног небеског пола P_S . Тај небески паралел представља, дакле, привидну дневну путању небеског тела. Када се небеско тело у том кретању нађе на правом хоризонту, прелазећи са невидљиве на видљиву небеску полусферу (положај T_1), кажемо да је то **излаз** небеског тела. Супротно, када се небеско тело у том кретању нађе на правом хоризонту, али прелазећи са видљиве на невидљиву небеску полусферу (положај T_2), кажемо да је то **залаз** небеског тела.

Приликом своје привидне дневне ротације небеско тело два пута пролази и кроз меридијан. Пролаз (у тачки K_G) ближи зениту Z назива се **горња кулминација**, а онај (у тачки K_D) даљи од зенита **доња кулминација** небеског тела.

Део привидне дневне путање небеског тела који се налази изнад правог хоризонта назива се **видљиви лук**

Круг $SZP_N NP_S S$ (слика 5) небеске сфере који садржи зенит Z и северни P_N и јужни небески пол P_S назива се **меридијан**. Он је постављен под правим углом у односу на прави хоризонт и сече га у **јужној** S и **северној** N тачки хоризонта. Јужна је она ближа јужном, а северна она ближа северном небеском полу. Посматрачу јужна тачка показује смер ка јужном, а северна ка северном географском полу.

(пуна линија на слици 7), а онај испод – **невидљиви лук** (испрекидана линија на слици 7) те путање. На видљивом луку своје путање тело је за посматрача видљиво, а на невидљивом луку – невидљиво. Са слике 7 је јасно да за посматрача на северној Земљиној полулопти важи да што је тело даље од небеског екватора, а ближе северном небеском полу P_N , то је видљиви лук његовог небеског паралела већи од невидљивог (тј. оно више времена проводи на видљивој него на невидљивој небеској полуоси) и да што је тело даље од небеског екватора, а ближе јужном небеском полу P_S , то је видљиви лук мањи од невидљивог (тј. оно мање времена проводи на видљивој него на невидљивој небеској полуоси). Размислите о томе какав је тај однос за посматрача на јужној Земљиној полулопти.



Слика 7: Видљиви и невидљиви лукови привидних дневних путања небеских тела.

Полазећи (за посматрача на северној Земљиној полулопти) од небеског екватора ка северном небеском полу, у једном тренутку невидљиви лук престаје да постоји – своди се на тачку (N – северна тачка хоризонта), тј. небески паралел само додирује прави хоризонт у тој тачки. Одатле па све до самог северног небеског пола небески паралели су све мањи, у потпуности су изнад правог хоризонта и на крају се свде на сам пол. Део небеске сфере на коме су небески паралели у потпуности изнад правог хоризонта назива се **циркумполарно небо**.

Супротно томе, полазећи (опет за посматрача на северној Земљиној полулопти) од небеског екватора ка јужном небеском полу, у једном тренутку видљиви лук престаје да постоји – своди се на тачку (S – јужна тачка хоризонта), тј. небески паралел само додирује прави хоризонт у тој тачки. Одатле па све до самог јужног небеског пола небески паралели су све мањи, у потпуности су испод правог хоризонта и на крају се свде на сам пол. Део небеске сфере на коме су небески паралели у потпуности испод правог хоризонта назива се **антициркумполарно небо**.

Супротно томе, полазећи (опет за посматрача на северној Земљиној полулопти) од небеског екватора ка јужном небеском полу, у једном тренутку видљиви лук престаје да постоји – своди се на тачку (S – јужна тачка хоризонта), тј. небески паралел само додирује прави хоризонт у тој тачки. Одатле па све до самог јужног небеског пола небески паралели су све мањи, у потпуности су испод правог хоризонта и на крају се свде на сам пол. Део небеске сфере на коме су небески паралели у потпуности испод правог хоризонта назива се **антициркумполарно небо**.

Покушајте да објасните како ове промене изгледају посматрачу на јужној Земљиној полулопти.

Небеска тела која се налазе на циркумполарном небу неког места никада не залазе гледано са тог места, па се стога одатле увек могу видети, за разлику од оних која су на антициркумполарном небу и која никада не излазе гледано са тог места, па се стога одатле никада не виде.

Питања за Вас: да ли су циркумполарно и антициркумполарно небо за неко место међусобно једнаки по величини или не (и зашто) и да ли се величина циркумполарног и антициркумполарног неба мења са променом географске ширине (ако се мења, на који начин то чини)?

Услед дневне ротације небеске сфере небеско тело излази на источној половини правог хоризонта, пење се постепено по свом небеском паралелу, у меридијану (горња кулминација) достиже највећу висину над правим хоризонтом, почиње да се спушта и на западној половини правог хоризонта залази. Затим наставља да се спушта испод овога, у меридијану (доња кулминација) достиже највеће растојање од њега на невидљивој небеској

полусфери, почиње поново да се пење и најзад излази. Након тога циклус се понавља.

Ако се тело налази на циркумполарном или антициркумполарном небу излаз и залаз изостају, а обе кулминације се одигравају у првом случају изнад, а у другом испод правог хоризонта.

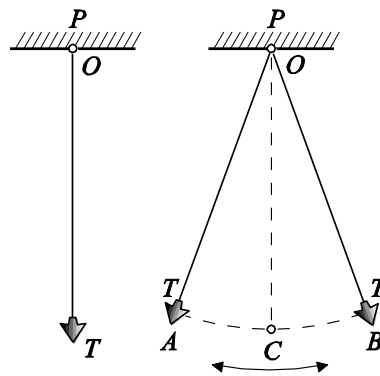
И Сунце, као једно од небеских тела, учествује у дневној ротацији небеске сфере, али његово привидно дневно кретање има нарочити значај за нас јер нам је живот, и у физиолошком и у социолошком смислу, организован у односу на њега – ми живимо у ритму Сунчевог привидног дневног кретања. Период за који, у том кретању, Сунце направи пун окрет око Земље назива се **прави Сунчев дан**.

Сунце је тело лоптастог облика, па се на небеску сферу пројектује приближно као круг. Тај круг називамо Сунчевим **привидним диском** (иако, дакле, то није диск него круг). И уопште, пројекцију било ког лоптастог тела на небеску сферу, довољно велику да буде видљив круг, називамо привидним диском тог тела (привидним зато што тело није заиста дисколико него се таквим нама приказује).

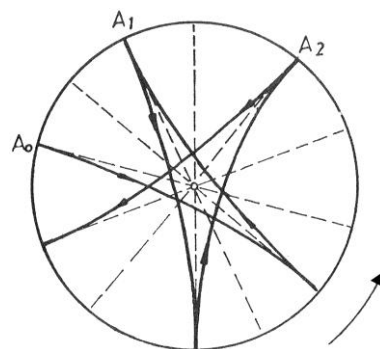
Део правог Сунчевог дана за време кога је Сунце на видљивој небеској полуоси назива се **обданица** (тачније, то је временски интервал између излаза и залаза, тим редом, највише тачке Сунчевог привидног диска), а онај за време кога је на невидљивој – **ноћ** (тачније, то је временски интервал између залаза и излаза, тим редом, највише тачке Сунчевог привидног диска).

Фукоово клатно

У мноштву доказа за Земљину ротацију издвојићемо најочигледнији: **Фукоово клатно**. То је општи назив за експерименте са физичким клатном којима се утврђује Земљина ротација. Први пут је такав експеримент извео француски физичар Фуко (Léon Foucault, 1819–1868) 1851. године и отуда назив експерименту.



Слика 8: Физичко клатно.



Физичко клатно је тело T (слика 8 лево) обешено о нит (конач, канап, жица,...) OT причвршћену у некој тачки O . Када се клатно изведе из мирујућег стања (положај C , слика 8 десно) и постави у, нпр, положај A , оно ће се под дејством Земљине гравитације све брже кретати ка положају C , у C ће достићи највећу брзину и затим ће се све спорије кретати до положаја B , на супротној страни од положаја C у односу на A , у коме ће се зауставити. Затим ће се ово кретање поновити на исти начин, само овога пута почевши из поло-

Слика 9: Промена равни путање Фукоовог клатна.

жаја B , итд, сваки следећи пут уз све мање максимално удаљење од равнотежног положаја C услед отпора средине приликом кретања и услед трења у тачки вешања O . После извесног времена клаћење сасвим престаје и клатно остаје у миру у тачки C .

За Фукоово клатно је битно да је у тачки O СЛОБОДНО вешано, што значи да је у тачки вешања интеракција између клатна и његовог носача минимална. Подлога испод клатна може да се поспе песком (како је то урадио сам Фуко у свом експерименту), тако да клатно приликом свога кретања оставља траг у песку. Уколико клатно није слободно вешано траг ће бити праволинијски;

међутим, ако је клатно слободно вешано подлога ће му „измицати” услед Земљине ротације – Земља ротира, а раван клаћења остаје непромењена – и путања на подлози ће бити облика розете (слика 9). Стрелица ван круга приказује смер Земљине ротације; раван клаћења се привидно помера (а, у првом приближењу, у ствари мирује) у супротном смеру од њега – најпре настаје A_0 правац, затим A_1 , па A_2 итд. И заиста, клатно се понаша на овакав начин, што представља директан и очигледан доказ да Земља ротира.