

45715

Osnovni nauki astronomije. (Kozmografija.)

Ponatis iz druge izdaje
Fizike za višje razrede srednjih šol.

Spisal

Jožef Reisner
gimn. profesor v Ljubljani.

Ima 38 slik.



Ljubljana 1921.

Založila Jugoslovanska knjigarna.

Natisnila Jugoslovanska tiskarna v Ljubljani.

Osnovni nauki astronomije. (Kozmografija.)

Ponatis iz druge izdaje
Fizike, za višje razrede srednjih šol.

Spisal

Jožef Reisner

gimn. profesor v Ljubljani.

Ima 38 slik.



Ljubljana 1921.

Založila Jugoslovanska knjigarna.

Natisnila Jugoslovanska tiskarna v Ljubljani.

45715



Vse pravice pridržane.

030048588

Pregled vsebine.

(Števila v oklepajih pomenijo strani.)

1. Navidezno vrtenje nebesne krogle (4—6). — 2. Nebesna soledja (7—8). — 3. Navidezno gibanje Solnca (8—11). — 4. Ekliptiško soledje (11). — 5. Časovne dobe in koledar (11—14). — 6. Navidezno gibanje Lune (14—16). — 7. Navidezno gibanje planetov (16—19). — 8. Oblika Zemlje (19—20). — 9. Zemljepisna širina in dolžina (20—21). — 10. Velikost Zemlje (21—22). — 11. Vrtenje Zemlje (22—25). — 12. Obzorna paralaksa. Razdalja nebesnih teles od Zemlje (25—26). — 13. Letna paralaksa. Gibanje Zemlje v svetovnem prostoru (26—28). — 14. Gibanje Zemlje okoli Solnca (28—30). — 15. Dolgost dneva in noči (30—32). — 16. Gibanje planetov okoli Solnca (32—33). — 17. Keplerjevi zakoni (33—34). — 18. Gravitacija. Newtonov zakon (34—35). — 19. Gravitacijska konstanta (35—36). — 20. Mase svetovnih teles (36—37). — 21. Pravo gibanje Zemlje (37—40). — 22. Pravo gibanje Lune (40—42). — 23. Plimovanje (bivavica) (42—43). — 24. Mrki (43—46). — 25. Dodatne pripombe k svetovnim telesom (46—53). — [Solnce (46). — Planeti (47). — Planetoidi (49). — Lune (sateliti, trabanti) (49). — Kometi (50). — Meteori in meteroidi (51). — Zvezde stalnice (52).]

Imenik (53).

Stvarno kazalo s slovensko-nemškim imenstvom (54—56).

Osnovni nauki astronomije. (Kozmografija.)

1. Navidezno vrtenje nebesne krogle. Na odprti planjavi (na odprtem morju) se nam zdi, da smo v središču velikanske okrogle plošče, ki sloni nad njo nebes (nebesni oblok). Na nebesu zremo Solnce*, zvezde, Luno, planete, lune planetov in komete. Vodoravna ravnina, ki si jo mislimo položeno skoz naše oko, se imenuje navidezni obzor. Točke nebesa, ki ležijo navpik nad nami, se nam zdijo bliže ležeče nego točke nebesnega obloka ob obzoru. Smatrati pa hočemo nad nami ležeči vidni nebesni oblok kot polukroglo in jo v mislih izpolnimo z nevidno, pod obzorom ležečo polukroglo v celo nebesno kroglo. Obzor seče nebesno

kroglo v krogu, ki se imenuje obzor-
nik (glej odst. 8.!). Skoz naše oko idoča
navpičnica seče nebesno kroglo v dveh
točkah; točka nad nami se imenuje
nadglavišče (temenišče ali zenit),
točka pod nami je podnožišče (pe-
tišče ali nadir).

V jasni noči vidimo nešteto množino zvezd, kakor bi bile od nas vse enako oddaljene in na notranji strani nebesne krogle pritrjene. Človeška domišljija je v značilnih ozvezdijih (skupinah zvezd) zrla slike različnih bitij ali predmetov; tako so nastala imena: Voz (Medved), Kasiopeja, Dvojčki, Tehnica i. dr. Kadar zremo dalje časa v ozvezdje, se nam zdi, da se nebes vrti.



Slika 1.

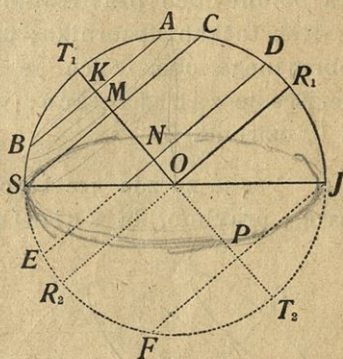
Ogromna večina zvezd ima na nebesnem obloku vedno enako medsebojno lego. Vse zvezde, ki nimajo drugega gibanja nego onega, ki ga zaznamo zaradi navideznega vrtenja nebesne krogle, imenujemo zvezde stalnice. Prav lahko najdemo svetlo zvezdo, ki leži tudi

* Ker so Sonce, Luna in Zemlja lastna imena določenih svetovnih teles, jih pišemo v astronomiji z veliko začetno črko, kadar jih omenjamo v vrsti drugih svetovnih teles.

proti stalnim predmetom opazovališča vedno enako; ta zvezda se imenuje tečajnica. Tečajnica leži približno v podaljšani premici, idoči skoz zvezdi β in α Velikega voza, je od α približno petkrat tako oddaljena kakor α od β in je skrajna zvezda v ojesu Malega voza (slika 1.).

Nebesna krogla se navidezno vrti enakomerno okoli premice T_1T_2 (slika 2.), položene približno skoz naše oko O in točko blizu tečajnice ($1^\circ 10'$ od nje); ta premica se imenuje svetovna os in oklepa v naših krajih z obzorom $\angle SOT_1 \pm 46^\circ$.

(V naših slikah je ta kot vzet nekoliko večji, 50°). Presečišči svetovne osi z nebesno kroglo se imenujeta svetovna tečaja; pri nas je viden severni tečaj T_1 , pod našim obzorom leži južni tečaj T_2 . Navidezni tiri zvezd so krogi, ki jim leže središča (K, M, N, O, P i. dr.) v svetovni osi in jim stoje ravnine pravokotno na svetovno os; imenujejo se vzporedniki. (Slika 2. kaže njih premere $\overline{AB}, \overline{CS}, \overline{DE}, \overline{R_1R_2}, \overline{JF}$). Največji vzporednik (oddaljen od vsakega tečaja za 90°) je glavni krogelni krog in se imenuje polutnik (ravnik). (V sliki 2. je $\overline{R_1R_2}$ njegov premer.)



Slika 2.

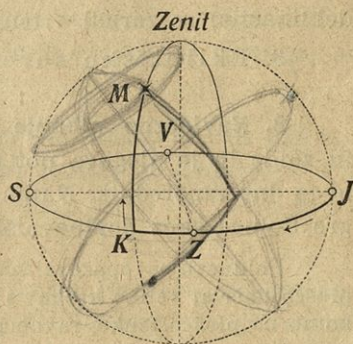
Kadar zremo proti severnemu tečaju, vidimo krožiti zvezde v pozitivnem smislu, t. j. v nasprotnem smislu urnega kazalca.

So vzporedniki, ki ne sečejo obzora; v sliki 2. leže njih središča med T_1 in M , oziroma med T_2 in P . Ob severnem tečaju po njih krožeče zvezde so za nas vedno vidne (podnevi z daljnogledom) in se imenujejo naše nadobzornice; ob južnem tečaju po njih krožeče zvezde niso v naših krajih nikoli vidne in se imenujejo naše podobzornice. Po vseh drugih vzporednikih krožeče zvezde se imenujejo vzhajalke; one vzidejo (pridejo nad obzor) in zopet zaidejo (zatonejo, gredo pod obzor). Točka obzornika, kjer vzhajalka vzide, oziroma zaide, se imenuje njeno vzhodišče, oziroma zahodišče.

Doba enkratnega obkroženja zvezde stalnice je stanovitna in se imenuje zvezdni dan.

2. Nebesna soredja. Lego zvezde na nebesni krogli določamo s soredji, ki se po izbranih osnovnih krogih imenujejo obzorniško, polutniško ali ekliptičsko soredje.

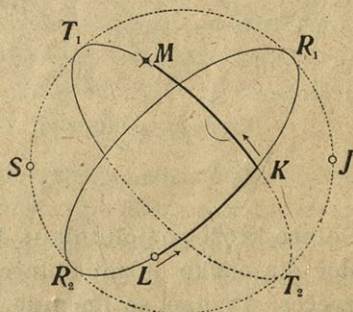
1. Obzorniško soredje. Skoz zvezdo in zenit položena navpična ravnina seče nebesno kroglo v glavnem krogu, ki se imenuje navpičnik ali višinski krog zvezde. Obzornik in navpičnik sta osnovna kroga obzorniškega soredja, ki so mu začetek (izhodišče) določili v južišču (slika 4.). Abscisa zvezde M je lok JK na obzorniku od južišča do zvezdnega navpičnika in se imenuje njen azimut; ordinata iste zvezde je lok KM na navpičniku od obzornika do zvezde in se imenuje njena višina. Azimut štejemo od 0° do 360° v smeri južišče-zahajališče-severišče-vzhajališče-južišče ($JZSVJ$), torej v smislu navideznega vrtenja nebesne krogle. Višina je proti zenitu severna (pozitivna), proti nadirju je južna (negativna). Lok na navpičniku od zvezde do zenita je zenitna daljina zvezde; višina in zenitna daljina zvezde sta komplementarni. Koordinati obzorniškega soredja (azimut in višina) se zaradi vrtenja nebesne krogle tekom vsakega dne neprestano izpreminjata.



Slika 4.

Višina severnega svetovnega tečaja, t. j. lok ST_1 (slika 2. ali 3.) na poldnevniškem krogu od obzornika do tečaja, se imenuje tečajna višina opazovališča (v Ljubljani $46^{\circ} 3'$); azimut tečaja je 180° . Lok JR_1 (slika 2.) na poldnevniškem krogu od obzornika do polutnika se imenuje polutniška višina; tečajna in polutniška višina sta komplementarni.

2. Polutniško soredje. Skoz zvezdo in svetovno os položena ravnina seče nebesno kroglo v glavnem krogel-nem krogu, ki se imenuje deklinacijski krog zvezde. Polutnik in deklinacijski krog sta osnovna kroga polutniškega soredja, ki so mu začetek določili v izbrani točki polutnika, ime-



Slika 5.

novani pomladišče (L , slika 5.). Pomladišče je ona točka polutnika, kjer stoji Solnce v trenutku, ko se pomlad začne (glej odst. 3.). Abscisa zvezde M je lok LK na polutniku od pomladišča do zvezdnega deklinacijskega kroga in se imenuje njena rektascenzija; ordinata iste zvezde je lok KM na deklinacijskem krogu od polutnika do zvezde in se imenuje njena deklinacija. Rektascenzijo štejemo od 0° do 360° od pomladišča L v nasprotnem smislu, nego se nebesna krogla navidežno vrti; deklinacija je severna ali južna. Koordinati polutniškega soredja (rektascenzija in deklinacija) se zaradi vrtenja nebesne krogle ne izpremenita nič.

3. Ekliptiško soredje glej odstavek 4.!

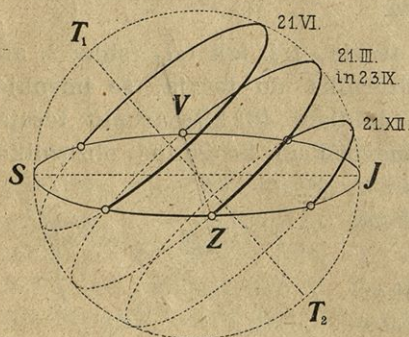
3. Navidežno gibanje Solнца. Pri nas Solnce vsak dan vziide in zaide in je njegova pot po nebesnem obloku tekom vsakega polnega dne vzporednik. Natančno sredi dobe med vzhodom in zahodom gre Solnce skoz poldnevniški krog; ta trenutek je poldan.

Poldnevnicco opazovališča lahko enostavno določiš tako-le: Na ravno ploščo načrtaj veliko krogov s skupnim središčem; v središču pritrdi pravokotno na ploščo tanko, ravno palčico; ploščo postavi vodoravno na solnčen kraj. Tekom dne meče palčica različno dolge sence na ploščo; senca je tem krajša, čim bliže poldnevniškega kroga stoji Solnce, in je opoldne najkrajša. Če zaznamenuješ dopoldne točko poljubne krožnice, ki je do nje segla senca palčice, in dobiš popoldne točko iste krožnice, ko seže senca do nje, spoji ti točki iste krožnice s središčem in razpolovi obsrediščni kot; razpolovnica je poldnevnicca. Taka enostavna priprava za določanje poldnevnice se imenuje solnčno kazalo ali gnomon. (Obeliski v Egiptu so služili takim namenom.)

Vsaka zvezda stalnica ima svojo stanovitno jutranjo, ozir. večerno daljino; Solnce pa izpreminja svojo jutranjo, ozir. večerno daljino od dne do dne (slika 6.).

Dne 21. marca vziide Solnce v vzhajališču V in zaide v zahajališču Z ; jutranja daljina je 0° ,

Solnce kroži po polutniku; dnevni lok je enak nočnemu loku, dan in noč sta enako dolga; Solnce vziide ob 6. uri zjutraj in zaide ob 6. uri zvečer; ta dan se imenuje pomladansko enakonočje (pomladanski ekvinokcij).



Slika 6.

Od 21. marca do 21. junija raste jutranja daljina neprestano od 0° do $23^{\circ} 27' 10.4''$ proti severu; dnevni lok je vedno večji od nočnega.

21. junija je najdaljši dan v letu; Solnce vzide kmalu po 4. uri zjutraj in zaide ob 8. uri zvečer; ta dan se imenuje poletni solnčni obrat (poletni solsticij ali kres — „o kresi se dan obesi“); vzporednik, ki po njem kroži Solnce ta dan, se imenuje severni ali rakovi obratnik.

Od 21. junija do 23. septembra pojema severna jutranja daljina neprestano do 0° ; dnevni lok, ki je še vedno večji od nočnega, se neprestano manjša.

23. septembra kroži Solnce zopet po polutniku, noč in dan sta zopet enako dolga; Solnce vzide ob 6. uri zjutraj in zaide ob 6. uri zvečer; ta dan se imenuje jesensko enakonočje (jesenski ekvinokcij).

Od 23. septembra do 21. decembra raste jutranja daljina neprestano od 0° do $23^{\circ} 27' 10.4''$ proti jugu; dnevni lok je vedno manjši od nočnega.

21. decembra je najkrajši dan v letu; Solnce vzide malo pred 8. uro zjutraj in zaide kmalu po 4. uri popoldne; ta dan se imenuje zimski solnčni obrat (zimski solsticij); vzporednik, ki po njem kroži Solnce ta dan, se imenuje južni ali kozorogovi obratnik.

Od 21. decembra do 21. marca pojema južna jutranja daljina neprestano do 0° ; dnevni lok, ki je še vedno manjši od nočnega, se neprestano veča.

Solnce kroži vsak dan po drugem vzporedniku; njegova navidezna pot po nebesnem obloku v dobi enega leta je torej nekakšna vijačnica, ki leži med obema obratnikoma in jo Solnce prehodi od 21. decembra do 21. junija navzgor, od 21. junija do 21. decembra navzdol.

Solnce ima še neko drugo navidezno gibanje na nebesu. Če si zapomnimo zvezdo, ki z njo Solnce določenega dne obenem kulminira, moremo zaznati, da kulminira Solnce nastopnega dne skoraj 4 minute (natančno $3^m 56.555^s$) kesneje nego dotična zvezda in se je njegova rektascenzija zvečala za približno 1^c ; dva dni pozneje kulminira Solnce že skoraj 8 minut kesneje nego dotična zvezda in se je nje-

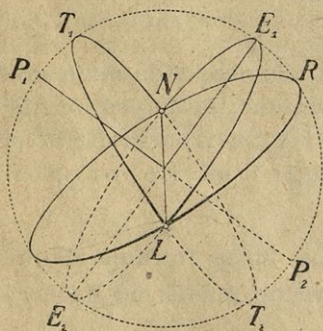
gova rektascenzija zvečala za približno 2° itd.; po $365\frac{1}{4}$ dneva kulminira Solnce zopet obenem z dotično zvezdo; njegova rektascenzija se je v tej dobi izpremenila za 360° .

Solnce izpreminja torej neprestano svojo deklinacijo in rektascenzijo, in sicer je

	deklinacija	rektascenzija
21. marca	0°	0°
21. junija približno	$+ 23\frac{1}{2}^{\circ}$	90°
23. septembra	0°	180°
21. decembra približno	$- 23\frac{1}{2}^{\circ}$	270°
21. marca	0°	360° ali 0° .

S spojitvijo vseh tistih točk na nebesu, kjer vidimo Solnce ob vsakokratni njegovi kulminaciji, dobimo glavni krogelni krog, ki se imenuje ekliptika; v sliki 7. krog s premerom E_1E_2 . Ravnina ekliptike je proti polutniku naklonjena za $23^{\circ} 27' 10.4''$ (naklon ekliptike). Solnce torej navidezno obkroži vsak dan drug vzporednik od vzhoda proti zahodu in obkroži tekom enega leta ekliptiko v nasprotnem smislu navideznega vrtenja nebesne krogle.

Presečišči L in N ekliptike s polutnikom R (slika 7.) se imenujeta točki enakonočja; točka L , kjer stoji Solnce, ko prehaja njegova deklinacija iz južne v severno, se imenuje pomladišče, točka N se imenuje jesenišče; točka E_1 ali E_2 , kjer ima Solnce svojo največjo severno ali južno deklinacijo, se imenuje obratišče ali obstojišče. Krog, ki gre skoz točki enakonočja in svetovna tečaja, se imenuje kolur enakonočja; krog, ki gre skoz obratišči in svetovna tečaja,

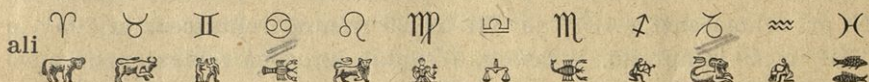


Slika 7.

se imenuje kolur obratka. Premer nebesne krogle, ki stoji pravokotno na ekliptiki, seče kolur obratka v točkah P_1 in P_2 , ki se imenujeta tečaja ekliptike in sta od svetovnih tečajev oddaljena za naklon ekliptike. Ravnini ekliptike in ravnika se ne sečeta v isti premici kakor obzor in ravnina polutnika.

Solnce gre na svoji poti po ekliptiki od pomladišča po vrsti skoz ta-le ozvezdja: Oven, Junec, Dvojčki, Rak, Lev, Devica, Tehnica, Škorpion, Strelec, Kozorog, Vodnar in Ribe; pas teh 12 ozvezdij se imenuje zodijak (živalski krog).

Ekliptiko delimo od pomladišča v 12 enakih delov in postavimo k vsakemu delišču znamenje nastopnega ozvezdja, začeni pri pomladišču z znamenjem Ovna. Ta znamenja so po vrsti, kakor so prej ozvezdja našeta:



Solnce je v „znamenju“ Ovna, ko stoji v ozvezdju Rib, je v „znamenju“ Raka, ko stoji v ozvezdju Dvojčkov itd. V nastopnem starem latinskem distihu so našeta imena ozvezdij v istem redu kakor prej:

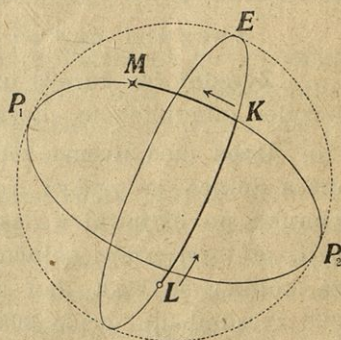
Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

4. Ekliptiško soredje. Temu soredju (slika 8.) sta osnovna kroga ekliptika in širinski krog, t. j. glavni krogelni krog, položen skoz zvezdo (nebesno točko) M in tečaja ekliptike P_1 in P_2 ; začetek soredja je pomladišče L . Abscisa je lok LK na ekliptiki od pomladišča do širinskega kroga in se imenuje (astronomijska) dolžina; ordinata je lok KM na širinskem krogu od ekliptike do zvezde in se imenuje (astronomijska) širina. Dolžino štejemo od pomladišča od 0° do 360° v onem smislu kakor Solnce navidezno kroži po ekliptiki (torej v istem smislu kakor rektascenzijo). Širina je severna ali južna.

Dolžina ima torej v astronomiji drug pomen nego v zemljepisju; v zemljepisju štejemo dolžino na polutniku, v astronomiji jo štejemo na ekliptiki.

Kadar imata dve svetovni telesi isto dolžino, stojita v konjunkciji; kadar se njuni dolžini razlikujeta za 90° , stojita v kvadraturi; kadar se dolžini razlikujeta za 180° , stojita v opoziciji.

5. Časovne dobe in koledar. Poznamo stanovito dobo zvezdni dan ($= 24$ zvezdnih ur po 60 minut, 1 minuta $= 60$ sekund). Zvezdni čas štejemo od zgornje kulminacije pomladišča; takrat je $0^h 0^m 0^s$ zvezdnega časa; ko se je deklinacijski krog pomladišča od poldnevniškega kroga odmeknil za $\frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$, je $1^h 0^m 0^s$ zvezdnega časa itd. Zaradi enakomerne vrtenja nebesne krogle moremo loke na polutniku izraziti s časovnimi enotami; lok 360°



Slika 8.

izražamo kot lok 24 ur in dobimo torej lok izražen v urah, če delimo število njegovih stopinj s 15 ($= \frac{360}{24}$); obratno dobimo število stopinj, če število ur, ki povedo polutnikov lok, pomnožimo s 15. N. pr. rektascenzija 185° je XII ur 20 minut, rektascenzija 205° je XIII ur 40 minut itd. V časovnih enotah izražena rektascenzija pove zvezdni čas, obkorej zvezda (točka) zgoraj kulminira. Eno uro po kulminaciji oklepa deklinacijski krog zvezde s poldnevniškim krogom kot (lok na ravniku) 15° itd. Lok na polutniku od poldnevniškega kroga do deklinacijskega kroga zvezde, štet v smislu navideznega vrtenja nebesne krogle (v nasprotnem smislu rektascenzije) in izražen v časovnih enotah, se imenuje urni kot zvezde; urni kot pove torej, koliko zvezdnega časa je poteklo od zadnje zgornje kulminacije zvezde.

Recimo, da ima zvezda (v časovnih enotah izraženo) rektascenzijo c ; ko je njen urni kot enak u , je od zgornje kulminacije pomladišča poteklo $(c + u)$ ur zvezdnega časa, in je torej

$$\text{zvezdni čas} = \text{rektascenzija} + \text{urni kot}.$$

Zvezdni čas kaže ure na zvezdarnah so tako urejene, da se kazalec minut tekom enega zvezdnega dne 24krat zavrti.

Doba med dvema zaporednima zgornjima kulminacijama središča Solнца je pravi solnčni dan. Ker se Solnce neprestano pomika po ekliptiki v nasprotnem smislu nego se nebesna krogla vrti, je torej pravi solnčni dan za toliko daljši od zvezdnega dne, za kolikor se vsak dan zgornja kulminacija Solнца zakesni; na 366 zvezdnih dni pride 365 pravih solnčnih dni.

Ko je Solnce v pomladišču, ima rektascenzijo 0° ; za pot od pomladišča do severnega obratišča potrebuje Solnce 92 dni 22 ur in rektascenzija zraste v tej dobi od 0° na 90° . Od severnega obratišča do jesenišča potrebuje Solnce 93 dni 14 ur in rektascenzija zraste v tej dobi od 90° na 180° . Za pot od jesenišča do južnega obratišča potrebuje Solnce 89 dni 17 ur in rektascenzija zraste v tej dobi od 180° na 270° . Od južnega obratišča do pomladišča potrebuje Solnce 89 dni 1 uro in rektascenzija zraste v tej dobi od 270° na 360° . Ti enako veliki prirastki po 90° rektascenzije nastanejo v različno dolgih dobah in se torej Solnce po ekliptiki ne giblje enakomerno, temveč v zimski dobi nekoliko hitreje nego v poletni dobi.

Pa recimo, da bi se Solnce po ekliptiki gibalo enakomerno, in projicirajmo vsakdanja enaka pota na polutnik in deklinacijske kroge! S tem smo vsakdanjo pot Solнца po ekliptiki razstavili v

komponenti na polutnik in na deklinacijski krog dotičnega dne; projekcija na deklinacijski krog pokaže izpremembo deklinacije, projekcija na polutnik pokaže prirastek rektascenzije. Ker pa so vsakdanja pota Solнца na ekliptiki proti polutniku različno naklonjena, bi tudi v tem slučaju vsakdanji prirastki rektascenzije ne bili enako veliki. Pravi solnčni dnevi torej niso enako dolgi.

Zaradi enakomerne delitve časa smo si v mislih ustvarili neko „povprečno solnce“, ki od pomladišča v smislu štetja rektascenzije enakomerno obhodi polutnik v isti dobi, kakor Solnce neenakomerno obhodi ekliptiko; obe solnci se krijeta v pomladišču 21. marca.

Doba med dvema zaporednima zgornjima kulminacijama povprečnega solнца je povprečni ali meščanski solnčni dan. Vsak povprečni solnčni dan je $\frac{366}{365} = 1.00274 = 24$ ur 3 minute 56.5 sekund zvezdnega dne.

Doba med zaporednima zgornjima kulminacijama povprečnega solнца in (pravega) Solнца istega dne je razlika med povprečnim in pravim solnčnim dnem in se imenuje časovna enačba. Ta je največja 12. februarja, namreč $+14$ min. 25 sek. (to se pravi: meščanski poldan je 14 min. 25 sek. pred kulminacijo pravega Solнца), in 3. novembra, namreč -16 min. 21 sek. (to se pravi: meščanski poldan je 16 min. 21 sek. po kulminaciji pravega Solнца). Štirikrat v letu, 15. aprila, 14. junija, 1. septembra in 25. decembra, kulminirata obe solnci hkrati; ob teh dnevih je torej časovna enačba 0.

Navadne ure kažejo povprečni solnčni čas; pravi solnčni čas povedo le „solnčne ure“. Meščanski čas se šteje od opoldne do opolnoči in od opolnoči do opoldne od 0^h do 12^h , ali od opolnoči do opolnoči od 0^h do 24^h .

Doba, ki v njej Solnce enkrat obhodi ekliptiko od poljubne njene stalne točke do iste nazaj, se imenuje sidersko (zvezdno) leto. Opazovanje uči, da pomladišče ni stalna točka ekliptike, da se temveč po ekliptiki počasi pomika v nasprotnem smislu Solнца, in sicer vsako sidersko leto približno za lok $50''$. Doba, ki v njej Solnce enkrat obhodi ekliptiko od pomladišča do istega nazaj, se imenuje tropsko (ekvinokcialno) leto in je nekoliko (za približno 20 minut) krajše od siderskega leta. Opazovanje uči dalje, da pomladišče na ekliptiki ne napravi vsako leto enako velike poti in je torej tropsko leto izpremenljivo.

1 tropsko leto = $365 \cdot 24220$ povpr. soln. dni = $365^d 5^h 48^m 45 \cdot 98^s$
 1 sidersko leto = $365 \cdot 25636$ „ „ „ = $365^d 6^h 9^m 9 \cdot 54^s$
 1 meščansko leto = 365 povprečnih solnčnih dni.

Meščansko leto se prične s 1. januarjem; pomlad se prične, ko stopi Solnce v pomladišče.

Ce bi v koledarju šteli leta dosledno po 365 dni in sploh ne upoštevali razlike $0 \cdot 24220$ povprečnih solnčnih dni, bi po več letih začetek pomladi ne bil več istega koledarskega dne 21. marca. Iz takega vzroka je bil leta 45. pr. Kr. koledar že za 67 dni za tropskimi leti. To razliko je popravil Julij Cezar z astronomom Sosigenom iz Aleksandrije na ta način, da je letu 46. pr. Kr. pridal 67 dni („leto zmešnjav“) in določil, da se pridene poslej vsakemu četrtemu letu meseca februarja en dan (prestopno leto 366 dni). Po tem „julijanskem koledarju“ je bila letna napaka $0 \cdot 25 - 0 \cdot 24220 = 0 \cdot 00780$ povprečnih solnčnih dni, kar da v 400 letih 312 dni. Nikejski koncil (325 po Kr.) je odredil, da so istega leta v koledarju preskočili tri dni; ker pa koledarja samega niso preuredili, je v poznejši dobi pogrešek zopet znatno narastel. Papež Gregor XIII. je odredil, da so v letu 1582. preskočili 10 dni (za 4. oktobrom so šteli takoj 15. oktober), obenem pa je preuredil koledar s tem določilom: vsakih 400 let je izpustiti tri prestopne dneve, in sicer na ta način, da ona sekularna leta (t. j. leta brez desetice in enice), ki niso deljiva s 4, niso prestopna leta. (Leti 1800 in 1900 nista bili prestopni leti, 2000 bo prestopno leto.) Po tem „gregorijanskem koledarju“ je še obstoječi pogrešek tako neznaten, da bo treba šele vsakih 3900 let izpustiti še en prestopni dan. Katoliki in protestantje so sprejeli gregorijanski koledar, Grki in Rusi so obdržali julijanskega; zaraditega je danes njihov datum 13 dni za našim.

Doba $365\frac{1}{4}$ dneva se imenuje „julijansko leto“.

6. Navidežno gibanje Lune. Kakor zvezde in Solnce, obhodi Luna vsak dan vzporednik v smislu navideznega vrtenja nebesne krogle. Kakor Solnce, izpremeni tudi Luna vsak dan svoje vzhodišče in zahodišče in s tem dolžino svojega dnevnega in nočnega loka. Kakor Solnce, kulminira tudi Luna vsak dan kesneje nego zvezda stalnica, ki je z njo prejšnji dan obenem kulminirala. S spojitvijo vseh točk na nebesni krogli, kjer vidimo Luno ob njenih kulminacijah, dobimo glavni krogelni krog, ki se imenuje Lunin tir. Luna obhodi svoj tir v istem smislu, kakor obhodi Solnce ekliptiko. Lunin tir leži tudi v zodijaku in je naklonjen proti ekliptiki za približno 5°

Vsako presečišče Luninega tira z ekliptiko se imenuje vozeli; oni vozeli, kjer prehaja Lunina širina iz južne v severno, se imenuje navzgornji vozeli, nasprotni je navzdolnji vozeli; oba vozla spaja premica vozlovka.

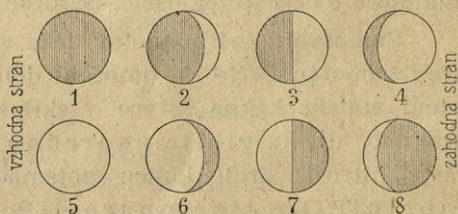
Rektascenzija Solнца se zveča vsak dan približno za 1° in se zakesni njegova kulminacija približno za 4 minute. Rektascenzija Lune se zveča vsak dan za $13^{\circ} 10' 35.03''$ (približno 13°) in se zakesni njena kulminacija približno za $4 \times 13\frac{1}{4} = 53$ minut. Z isto zvezdo kulminira Luna zopet približno po $\frac{360}{13}$ dneh; ta doba šteje natančno $27^d 7^h 43^m 11.5^s$ in se imenuje siderski ali tudi periodski mesec. Doba, ki jo potrebuje Luna, da pride od pomladišča k istemu nazaj, je zaradi nestalnosti pomladišča nekoliko krajša, šteje $27^d 7^h 43^m 4.78^s$ in se imenuje tropski mesec. V dobi, ko je Luna zaostala za stalnico za 360° , je Solnce za isto stalnico zaostalo približno za 27° (vsak dan približno za 1°); ta lok prehodi Luna približno v dveh dneh in se povrne vsakikrat k Solncu v dobi, ki šteje $29^d 12^h 44^m 2.68^s$ in se imenuje sinodski mesec ali lunacija. Vozla nista stalni točki ekliptike, temveč se pomikata po ekliptiki v nasprotnem smislu nego obhodi Luna svoj tir, in sicer vsako leto približno za 19° ; zaraditega potrebuje Luna za pot od vozla do istega nazaj le dobo, ki šteje $27^d 5^h 5^m 36^s$ in se imenuje drakoniški (zmajski) mesec.

242 zmajskih mesecev je 6585.357 dni } je približno 18 jul. let 11 dni.
223 sinodskih mesecev je 6585.321 dni }

Ta doba („Saros“), ki se v njej ponove vse medsebojne lege Solнца in Lune proti Zemlji (odst. 24.), je bila znana že Kaldecem in tudi Kitajcem že 2000 let pr. Kr. — 235 sinodskih mesecev je 6939.6883 dni je skoraj natančno 19 julijanskih let (Metonski mesečni cikel).

Danes imajo obhodne dobe Lune v koledarju pomen le še za določanje velikonočnih praznikov. Po cerkveni odredbi je velikonočna nedelja prva nedelja po prvi polni luni po nastopu pomladi, in se torej data Velike noči v enaki vrsti ponove vsakih nastopnih 19 let. Ko so data za eno tako dobo določena, se more datum vsake Velike noči izračunati; k letnici prištejejo 1 in delijo to vsoto z 19; ostanek deljenja se imenuje „zlati števil“ in k vsakemu zlatemu številu pripade v ciklu določeni datum.

Tekom vsakega sinodskega meseca izpremeni Luna svoje lice popolnoma (slika 9.). Ko je s Solncem v konjunkciji, je Luna temna; imamo „mlaj“ ☾. Takoj po mlaju zagledamo Luno



Slika 9.

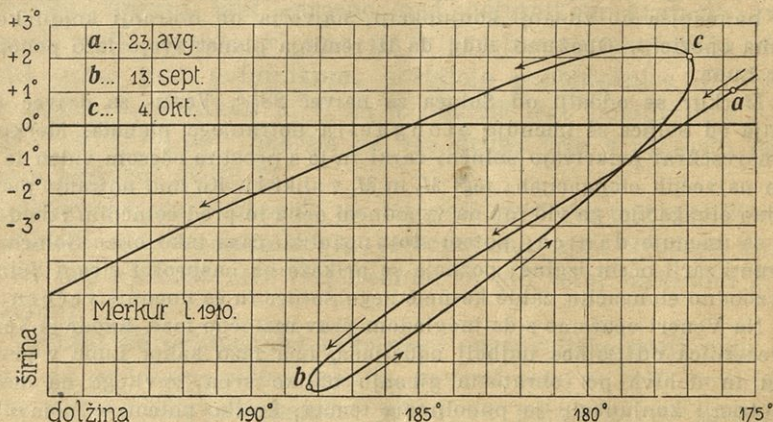
na zahodni strani v obliki ozkega svetlega srpa, ki mu je obrnjena konveksna stran proti zahodu; zahaja takoj za Solncem. Po konjunkciji se Luna odmika od Solнца v smeri proti vzhodu; razsvetljeni del se veča od dne do dne. Čez 7 dni in 9 ur je Luna v kvadraturi s Solncem, njena zahodna polovica je razsvetljena, vzhaja in zahaja 6 ur za Solncem; imamo „prvi krajec“ ☾. Čez novih 7 dni 9 ur je Luna v opoziciji s Solncem, kulminira zgoraj opolnoči in je vsa razsvetljena, imamo „polno luno ali ščip“ ☽. Po opoziciji se začne Luna na svojem zahodnem robu temniti in je čez 7 dni in 9 ur, ko je zopet v kvadraturi s Solncem, le še njena vzhodna polovica razsvetljena; kulminira približno 6 ur pred Solncem; imamo „zadnji krajec“ ☾. V nastopnih dneh se temni dalje, svetli srp ima konveksno stran obrnjeno proti vzhodu in čez 7 dni 9 ur po kvadraturi imamo zopet mlaj. Menjavanje Luninega lica imenujemo izpreminjanje faze.

Prvi krajec ima obliko črke D, zadnji krajec ima obliko črke C; ker ob prvem kraju svetli del Lune raste, ob zadnjem kraju pa pojema, torej ravno nasprotno, nego povesta latinska izraza *decrescit* (pojema) in *crescit* (raste), ki imata začetno črko D, oziroma C, je nastal pridevek *luna mendax* (lažniva Luna).

7. Navidezno gibanje planetov. Razen Solнца in Lune vidimo s prostim očesom še pet zvezd, ki imajo razen vsakdanjega navideznega gibanja z nebesno kroglo še samosvoje gibanje med stalnicami; razločijo se od drugih zvezd že po svojem mirnem svetenju (brez migotanja); te zvezde so planeti: Merkur, Venus, Mars, Jupiter in Saturn. Z daljnogledom zaznamo planete kot okrogle ploščice, nekatere z značilnim površjem; vse stalnice vidimo z daljnogledom kot točke. Z daljnogledom sta zaznatna še dva večja planeta, ki se imenujeta Uran in Neptun, veliko majhnih planetov (danes jih poznamo že skoraj 700), ki se imenujejo asteroidi ali planetoidi, in pa nekoliko spremljevalnih planetov, ki se imenujejo lune (trabant, sateliti) glavnih planetov; od teh ima Mars dva, Jupiter osem, Saturn deset, Uran štiri, Neptun enega.

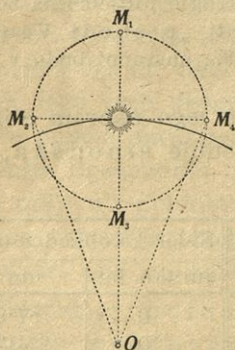
Samosvoji tiri planetov leže v zodiaku blizu ekliptike in so prav zamotane črte. V določeni dobi se giblje planet v zodiaku v istem smislu kakor Solnce v ekliptiki (od zahoda proti vzhodu); pravimo, da se giblje napredno. Začetkom naprednega gibanja raste hitrost, proti koncu pojema in poneha; planet navidezno „obstoja“ (je stacionaren). Po tem obstoju se giblje planet v zodiaku v nasprotnem smislu nego Solnce v ekliptiki (od vzhoda

proti zahodu); pravimo, da se giblje obratno. Začetkom obratnega gibanja raste hitrost, proti koncu pojema in poneha, planet zopet obstoji; pot obratnega gibanja je vedno manjša nego pot naprednega gibanja. Po tem obstoju se giblje planet zopet napredno (od zahoda proti vzhodu) itd.; mnogokrat (ne vselej!) se pri takem obračanju tvorijo zanke, ki ponovno sečejo ekliptiko. S sliko 10. primerjaj sliko 30.!

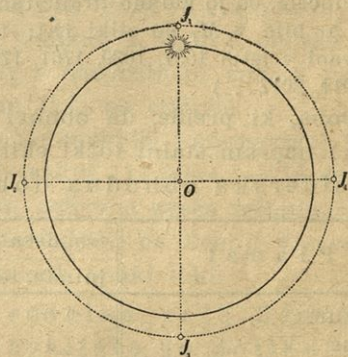


Slika 10.

Med naprednim gibanjem pride vsak planet enkrat v konjunkcijo s Solncem in je Solnce videti med Zemljo in planetom; lega M_1 v sliki 11. in J_1 v sliki 12.; zaradi tega se ta konjunkcija imenuje zunanja (zgornja)



Slika 11.



Slika 12.

konjunkcija. Med obratnim gibanjem prideta edino-le planeta Merkur in Venus zopet v konjunkcijo s Solncem, toda tedaj je planet (Merkur ali Venus) videti med Zemljo in Solncem; lega M_3 v sliki 11.; zaradi tega se ta konjunkcija imenuje notranja (zdoljnja) konjunkcija. Vsak drug planet

pride med obratnim gibanjem enkrat v opozicijo s Solncem; lega J_3 v sl. 12. V slikah 11. in 12. znači O opazovalčevo oko, ekliptika in planetov tir pa sta zaradi enostavnosti položena v ravnino papirja.

Ker nista Merkur in Venus nikdar s Solncem v opoziciji, pač pa ob vsakem obratnem gibanju v notranji konjunkciji in niso vsi drugi planeti nikdar v notranji konjunkciji s Solncem, se imenujeta Merkur in Venus notranja (zdoljnja) planeta, vsi drugi planeti pa so zunanji (zgornji) planeti.

Z daljnogledom opažamo, da planet izpreminja svojo navidezno velikost, ki je najmanjša ob zunanji konjunkciji, največja ob notranji konjunkciji, oziroma opoziciji. Opažamo tudi, da izpreminja planet svojo fazo podobno kakor Luna.

Merkur se oddalji od Solнца za največ $28\frac{1}{2}^\circ$, Venus za največ 48° ; razdalja od Solнца se imenuje elongacija notranjega planeta. Merkurja nam največkrat prikrivajo solnčni žarki in je s prostim očesom viden le ob svojih največjih elongacijah; legi M_2 in M_4 v sliki 11. Ko ima notranji planet zahodno elongacijo, ga vidimo na vzhodnem nebu le pred solničnim vzhodom; tedaj se imenuje danica; potem stoji nekoliko časa tako blizu Solнца, da v jutranji zarji očem izgine; pozneje se prikaže na nasprotni strani Solнца, ima vzhodno elongacijo, zaide kesneje nego Solnce in se imenuje večernica.

Na Veneri opažamo z daljnogledom prav razločno faze. Kadar je Venus kot večernica od Solнца najbolj oddaljena, ima fazo kakor Luna v prvem kraju in dobiva pri obratoem gibanju obliko srpa, zavitega na desno. Ob notranji konjunkciji je popolnoma temna; kratko potem se pojavi zahodno od Solнца kot danica v obliki na levo zavitega srpa. Ko pride v največjo zahodno elongacijo, ima fazo kakor Luna v zadnjem kraju. Med naprednim gibanjem raste razsvetljeni del neprestano do popolno razsvetljene ploščice, ki se pa kot taka ne vidi, ker je preblizu Solнца.

Redkokrat se zgodi, da gre Venus ob svoji notranji konjunkciji tako pred Solncem, da jo vidimo projicirano kot črno okroglo ploščico na Solncu (kakor bi bilo v M_3 po sliki 11.); to so znameniti „prehodi Venere“ (opazovani v letih 1631, 1639, 1761, 1769, 1874 in 1882; nastopni bodo v letih 2004, 2012, 2017...)

Doba, ki preide, da obnovi planet svojo lego napram Solncu, oziroma napram stalni točki ekliptike, se imenuje sinodska, oziroma siderska obhodna doba.

P l a n e t	Sinodska obhodna doba		Siderska obhodna doba	
	julijan. let	dni	julijan. let	dni
Merkur	0	115·88	0	87·97
Venus	1	218·67	0	224·70
Mars	2	49·44	1	321·73
Jupiter	1	33·63	11	314·84
Saturn	1	12·74	29	166·95
Uran	1	4·41	84	4·93
Neptun	1	2·24	164	287·14

Zunanji planet (slika 12.) pride s Solncem v konjunkcijo (J_1), v opozicijo (J_3) in v kvadraturu (J_2 in J_4); ob konjunkciji planet ni viden in kulminira opoldne; ob opoziciji kulminira opolnoči; tedaj ima najdaljše obratno gibanje.

8. Oblika Zemlje. Potujoč po poldnevnicí opazovališča proti severu, zaznamo, da se večja tečajna višina, severni tečaj se približuje našemu zenitu, večja se število nadobzornic, polutnik se približuje obzorniku, dnevni loki severno nad polutnikom krožečih zvezd postajajo večji, zvezde, ki smo jih v prvotnem opazovališču videli krožiti južno pod polutnikom, postajajo podobzornice. Primerne slike dobiš, če v slikah 2., 3. in 6. obdržiš lego poldnevnic SJ in večáš $\angle SOT_1$ do 90° , obdržiš pa vse druge črte v njihovih legah napram svetovni osi T_1T_2 .

Sklepamo, da bi morali na tej poti priti do točke na Zemlji, odkoder bi vse v polutniku in severno nad njim krožeče zvezde bile za nas nadobzornice (vzporedniki bi bili torej vzporedni z obzornikom).

Potujoč po poldnevnicí prvotnega opazovališča proti jugu, zaznamo, da se tečajna višina manjša, severni tečaj se bliža severišču, število nadobzornic se manjša, južno od polutnika se prikažejo zvezde, ki jih v prvotnem opazovališču nismo mogli videti. Pridemo do kraja, kjer je tečajna višina enaka 0° , polutnik gre skoz zenit vsi vzporedniki stoje pravokotno na obzoru, vse zvezde so vzhajalke, dnevni lok vsake zvezde je enak njenemu nočnemu loku. Potujočim v začetni smeri dalje, pade severni tečaj pod obzor in južni tečaj pride nad obzor. Primerne slike dobiš, če v slikah 2., 3. in 6. obdržiš lego poldnevnic SJ in vrtiš premer T_1T_2 v nasprotnem smislu urnega kazalca, lego vseh drugih črt napram T_1T_2 pa obdržiš.

Te pojave zaznamo na poti po poldnevnicí kateregakoli kraja na Zemlji. Opazovanje uči, da se za vsakih 111.3 km ($= 15$ zemljepisnih milj) na poldnevnicí zmanjša, oziroma zveča tečajna višina za 1° , da pripadajo torej k enakim razdaljam na Zemlji v severno-južni smeri tudi na poldnevniških krogih enaki loki.

Sklepamo: poldnevniška ravnina seče Zemljo v krogu in poldnevnicá opazovališča je dotikalnica tega kroga.

Potujoč po pravokotnici na poldnevnicó proti vzhodu, zaznamo na vsaki zvezdi, da vzhaja in kulminira tem prej, čim dalje smo prišli proti vzhodu, in da pripadajo k enakim razdaljam opazovališč tudi enake časovne razlike v vzhajanju in kulminiranju.

Sklepamo: Zemlja je tudi v vzhodnozahodni smeri povsod enako ukrivljena.

Po stereometrijskih zakonih poznamo samo eno telo, ki je na dveh pravokotnih smereh povsod enako ukrivljeno, to je krogla.

Sklepamo: Zemlja je krogla (ali vsaj približno krogla), ki ima skupno središče z nebesno kroglo in v njeni votlini prosto visi.

Da Zemlja ni ravna, okrogla plošča, kakor se nam zdi, uče tudi druge vsakdanje izkušnje: Naš obzor je vedno krog, ki se večja, kadar stopamo više (na stolp, na hrib, v zrakoplovu); kadar se močno oddaljimo od visokih predmetov, izginejo očem najprej nižji deli; na morskem bregu zaznamo od bližajočih se ladij najprej vrhove (jambore). Potovanje okoli sveta. Senca Zemlje na Luni ob Luninem mrku je okrogla itd.

Ravnina, ki se v opazovališču dotika Zemlje, se imenuje navidezni obzor; ta seče nebesno kroglo v krogu, ki se imenuje navidezni obzornik in ni glavni krog nebesne krogle. Skoz središče zemlje idoča in z navideznim obzorom vzporedna ravnina se imenuje pravi obzor; ta seče nebesno kroglo v glavnem krogu, ki se imenuje pravi obzornik. Kadar imamo oko tik na površju Zemlje, vidimo del nebesne krogle nad navideznim obzornikom; kadar imamo oko više nad površjem Zemlje, vidimo del nebesne krogle nad onim krogom, kjer seče nebesno kroglo plašč stožca, ki ima svoj vrh v našem očesu in ki so mu stranice iz našega očesa na zemeljsko kroglo položene dotikalnice.

9. Zemljepisna širina in dolžina. Oni točki na Zemlji, kjer se krijeta zenit in svetovni tečaj, se imenujeta severni, oziroma južni zemeljski tečaj. Premica, ki ju spaja, se imenuje zemeljska os in se seveda krije s svetovno osjo. Vsak glavni krog, ki gre skoz tečaja, se imenuje zemeljski poldnevniški krog. Vsak zemeljski krog, ki stoji pravokotno na osi, se imenuje zemeljski vzporednik. Največji zemeljski vzporednik (oddaljen od vsakega tečaja za 90°) je zemeljski polutnik (ravnik) in leži seveda v ravnini nebesnega polutnika (ravnika).

Lego točk na Zemlji določamo s soradjem, ki sta mu osnovna kroga polutnik in izbrani poldnevniški krog. Poldnevniški polkrog med tečajema se imenuje zemeljski poldnevnik (meridian, ker imajo kraji na istem poldnevniku istočasno poldan). Kot „začetni poldnevnik“ velja danes običajno poldnevnik, ki gre skoz Greenwich (izg. Grinič, vzhodno predmestje Londona, kjer je velika angleška Narodna zvezdarna). Abscisa zemeljske točke je lok na polutniku od začetnega do točkinega poldnevnika in se imenuje zemljepisna dolžina; ordinata točke je lok na točkinem poldnevniku od polutnika do točke in se imenuje zemljepisna širina. Dolžino štejemo od 0° do 180° vzhodno ali zahodno, širino štejemo od 0° do 90° severno ali južno.

Vzporednika, ki imata $23^{\circ} 27' 10.4''$ severne ali južne širine, se imenujeta severni (rakovi), oziroma južni (kozorogovi) obratnik; vzporednika, ki imata $66^{\circ} 32' 49.6''$ severne ali južne širine, se imenujeta severni, oziroma južni tečajnik. Podnebni zemeljski pas od južnega do severnega obratnika se imenuje vroči pas, od severnega (južnega) obratnika do severnega (južnega) tečajnika je severni (južni) zmerni pas, od severnega (južnega) tečajnika do severnega (južnega) tečaja je severni ali arktni (južni ali antarktni) mrzli pas.

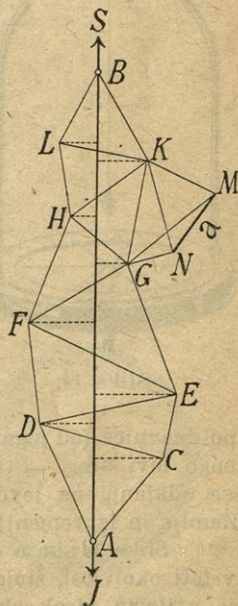
Točke na istem poldnevniku imajo obehem isti čas; na različnih poldnevnikih ležečima točkama je razlika časa premo sorazmerna z razliko zemljepisnih dolžin. V opazovališču A , ki ima dolžino za 15° proti vzhodu večjo od opazovališča B , kulminira ista zvezda $24 \cdot \frac{15}{360} = 1$ uro prej; k časovni razliki 4 minut pripada 1° razlike zemljepisnih dolžin. Razliko dolžin določimo torej lahko z odmerjenjem časovnih razlik.

Zemljepisna širina opazovališča meri toliko stopinj kakor kot, ki ga oklepa skoz opazovališče idoči zemeljski polumer z onim polumerom, ki gre v polutnikovi ravnini k poldnevniku opazovališča. Poldnevnik je dotikalnica na poldnevnik in stoji pravokotno na polumeru opazovališča; svetovna os pa stoji pravokotno na polutnikovi ravnini in na vsakem v tej ravnini ležečem polumeru; kot, ki ga oklepa poldnevnik s svetovno osjo, je tečajna višina opazovališča. Ker sta normalna kota enaka, določimo torej zemljepisno širino lahko z odmerjenjem tečajne višine.

Ure na kolodvorih ne kažejo povsod krajevnega časa; zaradi točnosti železniškega prometa so namreč vpeljali takozvani pasovni čas. Kraji med poldnevnikoma $-7\frac{1}{2}^{\circ}$ in $+7\frac{1}{2}^{\circ}$ zemljepisne dolžine tvorijo prvi časovni pas, kraji med $7\frac{1}{2}^{\circ}$ in $22\frac{1}{2}^{\circ}$ tvorijo drugi časovni pas itd.; dolžina vsakega pasa je 15° ; v vsakem časovnem pasu se ravnajo kolodvorske ure po krajevem času poldnevnik s povprečno dolžino, v drugem pasu torej po poldnevniku $+15^{\circ}$ dolžine. Drugi časovni pas obsega Srednjo Evropo; zaraditega se imenuje naš kolodvorski čas tudi srednjeevropski čas.

10. Velikost Zemlje. Recimo, da je Zemlja krogla; A in B sta kraja na istem poldnevniku, razlika njunih širin je α° , lok poldnevnik s krajiščema A in B ima dolžino l , polumer Zemlje je r ; potem velja $2r\pi : l = 360^{\circ} : \alpha^{\circ}$. Iz l in α moremo torej izračunati r .

Dolžino l dobimo po Snellijevega načina triangulacije (slika 13.). Ob poldavnici SJ krajev A in B izberemo lahko pristopne točke $C, D, E \dots L$, da moremo z njih natančno odmeriti kote, ki jih oklepajo zorne premice k sosednjim točkam; na ta način odmerimo kote vsem trikotnikom, ki se jim vrsta začne pri A in konča pri B . Kjer so tla najbolj ugodna (naj-



Slika 13.

bolj ravna in pristopna), odmerimo poljubno daljico, n. pr. $MN = a$; iz njenih krajišč zremo v točki G in K in odmerimo kote na stranici a . Zdaj lahko trigonometrijsko izračunimo stranice MK , NK i. dr., vse stranice trikotnikov naše slike. Vsota projekcij stranic AC , CE , EG , GK in KB ali AD , DF , FH , HL in LB pa je $AB = l$.

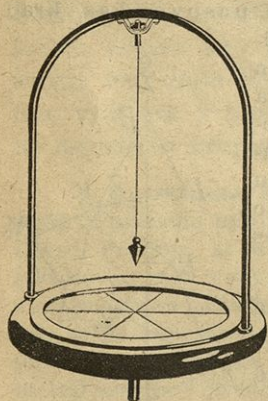
Ker so prvotno na ta način določali dolžino ločne stopinje, imenujemo tudi to merjenje stopinjsko merjenje.

Stopinjsko merjenje je pokazalo, da so pač poldnevniksi vsi enako dolgi, da pa je stopinja poldnevniksa tem daljša, čim večja je zemljepisna širina krajišč. Poldnevniksi torej niso polkrogi, Zemlja ni krogla, temveč na tečajih sploščen sferoid (približno rotacijski elipsoid, zaradi svojih posebnosti „geoid“). Največji (polutniški) zemeljski premer je $2a$, $a = 6378200$ m (Helmert 1907), najmanjši (tečajni) premer je $2b$, $b = 6356818$ m. Količnik $\frac{a-b}{a} = a$ se imenuje razplošček Zemlje in je $a = \frac{1}{298.3}$. Polumer krogle, ki bi imela toliko prostornino kakor Zemlja, je ± 6370 km.

11. Vrtenje Zemlje. Na različnih krajih (Benzenberg l. 1802. v Hamburgu na Mihaelovem stolpu z višine 73 m, leta 1804. v rovu pri Schlebuschu, Reich l. 1832. v 160 m globokem rovu pri Frei-

bergu, v novejšem času z Eiflovega stolpa i. dr.) so napravili ta-le poskus prostega pada: Z visoko ležeče točke izpustimo kamen, da prosto pade; kamen ne pade na tla v podnožišču navpičnice, ki gre skoz izhodišče prostega pada, temveč nekoliko vzhodno od nje. Tega pojava si ne moremo razjasniti, če ostanemo pri sodbi, da Zemlja miruje.

Drugi znani pojavi: Na polutniku se zrak močno segreje in teče v višjih plasteh proti tečajema, v nižjih plasteh pa priteka hladnejši zrak k polutniku; če bi Zemlja mirovala, bi moral v krajih med polutnikom in severnim obratnikom pihati severni veter, med polutnikom in južnim obratnikom pa južni veter; izkušnja pa uči, da je prvi veter severovzhoden, drugi južnovzhoden. — V smeri



Slika 14.

poldnevnic (od juga proti severu) tekoče reke imajo desni breg jače razjeden nego levi breg. — Odklon projektilov iz topov. — Vsako gibanje v obzoru se odklanja na levo opazovalca, zročega proti polutniku. — Sploščenost Zemlje in izpremenljivost pospeška prostega pada z zemljepisno širino.

Slika 14. kaže okroglo ploščo, ki jo moremo s centrifugalnim strojem vrteti okoli osi, stoječe pravokotno na plošči v njenem središču; na ploščo je pritrjen visok okvir; z vrha okvira visi nihalo. Nihalo je na okviru „kardanovsko“ (Cardano) obešeno (slika 15.); žica je vtaknjena skoz kratek

drog; vprek skoz drog je pritrjena tristranična prizma, ki sloni z ostrim robom v zgornjih utorih (zarezah) obroča; obroč je z vzdoljnima utoroma (zarezama) postavljen na ostri rob tristraničnih prizem, pritrjenih na podstavku; podstavek je z navzgor zavrtima kriloma pritrjen na okvir (strop). Ostrini obeh prizem, ki na njiju sloni obroč, ležita v skupni premici in stoji ta premica pravokotno na ostrini drogove prečke. Kardanovsko obešalo dopušča, da more nihalo popolnoma prosto v katerikoli ravnini nihati in nihala prav nič ne ovira, obdržati prvotno nihalno ravnino napram okviru, kjer je obešalo pritrjeno. — Nihalo zanihamo in vrtimo ploščo; opazimo, da nihalo vztraja v svoji prvotni nihalni ravnini. Če bi ne zaznavali vrtenja in videli le zarisane premere in kroglo nihala, bi se nam zdelo, da niha nihalo vsak čas nad drugim premerom, da neprestano izpreminja nihalno ravnino.

Foucaultov poskus z nihalom (prvikrat l. 1851. v Panteonu v Parizu). Na stropu visoke sobe je žica kardanovsko pritrjena, na žici visi nekoliko od tal sobe težka, natančno centrirana krogla (slika 15.). Kroglo pritegnemo na stran in jo privežemo z vrvico k stebričku, ki je tako postavljen, da zaniha nihalo ravno nad poldnevnicco opazovališča, ko vrvico prežgemo. Prav kmalu zapazimo, da nihalo ne niha več nad poldnevnicco; po preteku ene ure niha v naših krajih že nad premico, ki oklepa s poldnevnicco kot približno 11° in leži severni konec premice vzhodno od poldnevnice. Ker vemo, da nihalo vztraja v prvotni nihalni ravnini, sklepamo, da smo opazovalci z Zemljo vred izpremenili svojo lego proti nihalni ravnini, da se Zemlja vrti od zahoda proti vzhodu. Tega vrtenja ne čutimo in se ga ne zavedamo, ker se vrši popolnoma mirno in enakomerno.

Vse doslej opisano gibanje na nebesni krogli moramo presoјati z vidika, da nebesna krogla miruje, Zemlja pa se okoli svoje osi vrti. Samoobsebi je že neverjetno, da bi se vse zvezde gibale z nebesno kroglo okoli mirujoče Zemlje. Kake velikanske hitrosti bi morale imeti stalnice v svetovnem prostoru zaradi svojih nepredočljivih razdalj od Zemlje! Večina zvezd bi po prvem nazarju krožila okoli netvarnih točk v svetovni osi! Zemlja bi morala imeti neskončno

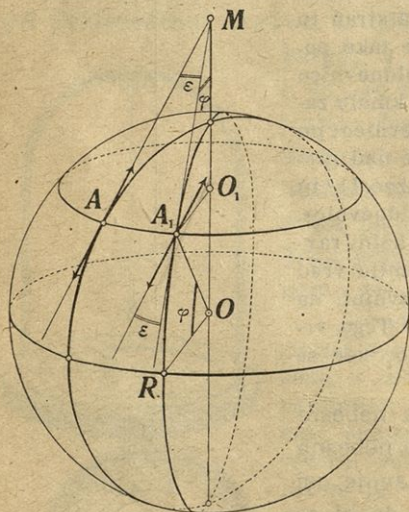


Slika 15.

veliko privlačnost, ki bi jače delovala na bolj oddaljene in slabeje na bližje stoječe zvezde, kar je vse proti zakonom mehanike.

Da se Zemlja vrti okoli svoje osi, je prvi odločno izrekel Nikolaj Kopernik (Nicolaus Copernicus 1543 „De revolutionibus orbium coelestium“). Nebesna krogla se tekom enega zvezdnega dne enkrat navidezno zavrti od vzhoda proti zahodu; reči moramo: Zemlja se v isti dobi enkrat zavrti okoli svoje osi od zahoda proti vzhodu.

„Poskus prostega pada“ je po tem naziranju lahko razjasniti: kamen ima v veliki višini precej večjo hitrost proti vzhodu nego jo ima podnožišče navpičnice, ki je od zemeljskega središča manj oddaljeno; kamen obdrži med padom začetno večjo hitrost in pade na tla bolj vzhodno od navpičnice, nego se je v isto smer premaknilo njeno podnožišče. Iz polmera Zemlje, višine izhodišča pada in vrtilne hitrosti moremo izračunati razdaljo med vpadiščem kamna in podnožiščem navpičnice; vsi računski rezultati se popolnoma ujemajo z merjenji v omenjenih poskusih Benzenberga in Reicha.



Slika 16.

Vsi rezultati Foucaultovega poskusa na različnih opazovališčih se natančno ujemajo s temi-le preudarki: Recimo, da niha nihalo v kraju A v poldnevnicu AM (slika 16); po kratki dobi ima točka A zaradi vrtenja Zemlje lego A₁, poldnevnicu opazovališča ima lego A₁M; poldnevnicu je v vsaki legi dotikalnica na poldnevnik. Nihalna ravnina v A₁ je vzporedna z AM in oklepa s poldnevnicu v A₁ kot ε, ki je enak kotu med obema poldnevnicama. V dobi, ko se Zemlja enkrat zavrti, poriša krajevna poldnevnicu plašč pokončnega stožca s polmerom O₁A₁ = ρ in z višino O₁M; nihalna ravnina pa se je v tej dobi navidezno zavrtela za kot α, ki je vsota vseh kotov ε med po dvema zaporednima poldnevnicama. Kot α je torej obsrediščni kot v ravnino razgrnjenega plašča s polmerom

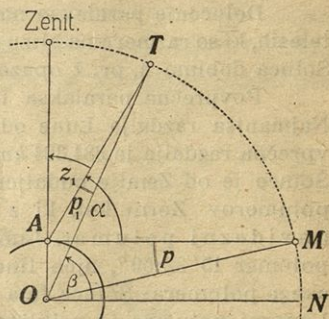
$O_1A_1 = \rho$ in s stranico $A_1M = s$ in velja $\alpha^0 : 360^0 = 2\rho\pi : 2s\pi$. Iz trikotnika A_1O_1M dobimo $\rho = s \sin \varphi$; kraka kota A_1MO_1 stojita pravokotno na krakih kota A_1OR in je φ zemljepisna širina opazovališča A. Iz prejšnjega sorazmerja dobimo $\alpha^0 = 360^0 \cdot \frac{\rho}{s} = 360^0 \cdot \sin \varphi$. V eni uri se torej nihalna ravnina v opazovališču navidezno zavrti za $\frac{360^0 \sin \varphi}{24} = 15^0 \cdot \sin \varphi$.

Vsi poskusi in računi uče:

Zemlja se okoli svoje osi enakomerno vrti od zahoda proti vzhodu in se enkrat zavrti v 24 zvezdnih urah.

12. Obzorna paralaksa. Razdalja nebesnih teles od Zemlje.

V sliki 17. znači AM navidezni obzor, ON pravi obzor opazovališča A , O središče Zemlje, T nebesno telo. Višina nebesnega telesa, merjena iz opazovališča A , je α ; iz središča Zemlje merjena, bi bila višina istega telesa β . Razlika $\beta - \alpha = p_1$ se imenuje dnevna ali višinska paralaksa nebesnega telesa; dnevna paralaksa v zenitu stoječega nebesnega telesa je 0° . Dnevna paralaksa raste, ko se manjša višina, in dobi največjo vrednost p , ko stoji nebesno telo v navideznem obzoru. Kot p se imenuje obzorna paralaksa in ni nič drugega nego dnevna paralaksa z ozirom na pravi obzor v istem trenutku, ko je višina telesa napram navideznemu obzoru enaka 0° ; lahko tudi rečemo, da je p oni zorni kot, ki bi z njim v M stoječe oko videlo polumer Zemlje.

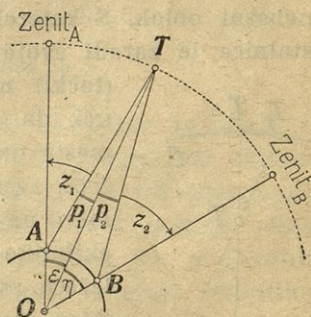


Slika 17.

Iz trikotnika AOM , kjer je $\overline{OA} = r$ (polumer zemlje), $\overline{OM} = d$ (razdalja $\overline{OT}$ nebesnega telesa od Zemlje), dobimo $d = \frac{r}{\sin p}$. Če moremo torej določiti obzorno paralakso nebesnega telesa, moremo izračunati njegovo razdaljo od Zemlje.

Iz trikotnika OAT dobimo $r:d = \sin p_1 : \sin z_1$ in zaradi $\frac{r}{d} = \sin p$ končno $\sin p = \frac{\sin p_1}{\sin z_1}$, kjer znači p_1 dnevno paralakso v onem trenutku, ko ima nebesno telo za opazovališče A zenitno daljino z_1 .

Dnevno paralakso pa določimo lahko tako-le: A in B v sliki 18. sta opazovališči na istem poldnevniku; $\varepsilon + \eta = \gamma$ je razlika njihovih zemljepisnih širin; z_1 in z_2 sta istočasno odmerjeni zenitni daljini; p_1 in p_2 sta dnevni paralaksi ob času merjenja. Iz trikotnikov OAT in BOT dobimo $r:\overline{OT} = \sin p_1 : \sin z_1$ in $r:\overline{OT} = \sin p_2 : \sin z_2$; iz teh sorazmerij je $\sin p_1 : \sin p_2 = \sin z_1 : \sin z_2$ in



Slika 18.

$$\tan \frac{p_1 + p_2}{2} : \tan \frac{p_1 - p_2}{2} = \tan \frac{z_1 + z_2}{2} : \tan \frac{z_1 - z_2}{2}.$$

Ker je $p_1 = z_1 - \varepsilon$, $p_2 = z_2 - \eta$ je $p_1 + p_2 = z_1 + z_2 - (\varepsilon + \eta) = z_1 + z_2 - \gamma$; torej je

$$\operatorname{tang} \frac{p_1 - p_2}{2} = \frac{\operatorname{tang} \frac{z_1 + z_2 - \gamma}{2} \operatorname{tang} \frac{z_1 - z_2}{2}}{\operatorname{tang} \frac{z_1 + z_2}{2}}.$$

Po tej enačbi dobiš $\frac{p_1 - p_2}{2}$; ker poznaš tudi $\frac{p_1 + p_2}{2}$, izračuniš enostavno p_1 (ali p_2).

Določanje paralakse na ta način je dovolj natančno samo pri nebesnih telesih, ki so razmeroma blizu Zemlje, kakor so Luna, Merkur, Venus. Paralakso Solнца dobimo n. pr. z opazovanji na planetoidu Eros ali s prehodi Venere.

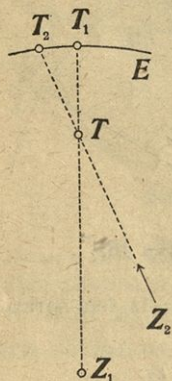
Povprečna paralaksa Lune je $57' 2.68''$, paralaksa Solнца je $8.804''$. Najmanjša razdalja Lune od Zemlje je 356.670 km , največja 407.138 km , povprečna razdalja je $384.394 \text{ km} = 60.2669$ (približno 60) zemeljskih polumerov; Solnce je od Zemlje oddaljeno približno $149.500.000 \text{ km} = 23.439$ zemeljskih polumerov. Zorni kot, ki z njim vidimo polumer krogle, imenujemo njen navidezni polumer. Luna ima v povprečni razdalji od Zemlje navidezni polumer $15' 32.59''$, njen linearni polumer je $1738.2 \text{ km} = 0.272518$ zemeljskega polmera; Solnce ima povprečni navidezni polumer $15' 59.63''$, njegov linearni polumer je približno $695.339 \text{ km} = 109$ zemeljskih polumerov; količnik med površino (prostornino) Solнца in Zemlje je 11885 (oziroma 1,295,700). Navidezni polumer Solнца se tekom leta izpreminja; največji je 1. januarja $16' 15.9''$, najmanjši je 2. julija $15' 43.8''$.

Obzorna paralaksa vseh zvezd stalnic je $0''$, to se pravi, vse stalnice so od Zemlje tako močno oddaljene, polumer Zemlje je v primeri z njihovo razdaljo od Zemlje tako neznatno majhen, da bi se z vsake stalnice Zemlja videla kot točka.

13. Letna paralaksa. Gibanje Zemlje v svetovnem prostoru.

Opazovalec projicira v svetovnem prostoru ležeče nebesno telo na nebesni oblok. S katerekoli točke na Zemlji opazujemo, projekcija stalnice je zaradi svoje velike razdalje od Zemlje na istem mestu

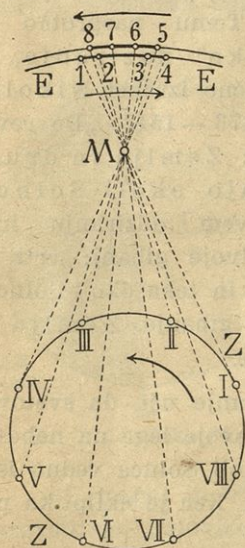
(točki) nebesnega obloka. Večletno opazovanje pa uči, da izpreminjajo tudi stalnice tekom leta svoja mesta na nebesnem obloku. V ravnini ekliptike ležeče zvezde vidimo hoditi po večjem ali manjšem loku na nebesnem obloku sem in tja, na tečaju ekliptike ležečo zvezdo vidimo obhoditi krog, drugod ležeče zvezde vidimo obhoditi elipse, ki imajo različne glavne osi. Če bi Zemlja Z_1 (slika 19.) tekom daljše dobe obdržala svojo lego napram zvezdi T_1 , bi morala tudi projekcija T_1 obdržati svoje mesto na nebesnem obloku. Ker pride projekcija n. pr. v T_2 , moramo sklepati, da je v neki dobi Zemlja izpremenila svoje mesto v svetovnem prostoru, da leži



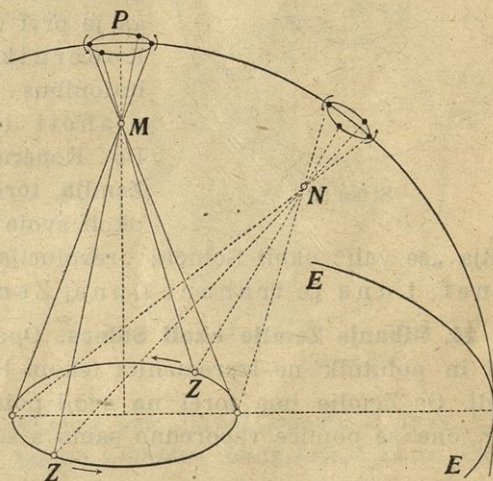
Slika 19.

po tej dobi v premici Z_2T_2 . Velika os elipse (oziroma premer kroga ali le lok), ki jo stalnica v dobi enega leta navidezno poriša na nebesnem obloku, se imenuje letna paralaksa stalnice.

Razen letne paralakse stalnic so še drugi pojavi (abracija svetlobe, hitrost svetlobe [Olaf Römer], faze notranjih planetov), ki nas silijo k sklepu, da napravi Zemlja tekom vsakega leta določeno pot v svetovnem prostoru. Letne paralakse lahko umevamo, če rečemo, da obhodi Zemlja tekom enega leta krog ZZ v ravnini ekliptike EE (sliki 20. in 21.). V sliki 20. je ekliptika položena



Slika 20.

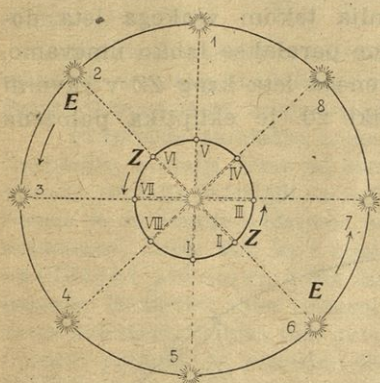


Slika 21.

v ravnino papirja, v sliki 21. pravokotno na papir in znači P tečaj ekliptike, M ali N zvezdo. Po sliki 20. je posneti, da vidimo iz leg Zemlje I, II, III itd. zvezdo v točkah 1, 2, 3 itd. nebesnega obloka in da leže te točke v loku ekliptike; zaradi jasnosti slike so točke 5, 6, 7 in 8 zarisane v drug vzporeden lok v ravnini ekliptike. Po sliki 21. je posneti, da vidimo v tečaju ekliptike ležečo zvezdo porisati krog; zvezda N poriša na nebesnem obloku elipso.

Upoštevaajoč, da je masa Solнца 333.400 krat toliko kakor masa Zemlje, je tudi samoobsebi neverjetno, da bi se Solnce po ekliptiki gibalo okoli Zemlje kot središča svojega centralnega gibanja, kakor se nam to zdi. Enostavno pa moremo navidezno letno gibanje Solнца

umevati po sliki 22., da iz leg Zemlje I, II, III itd. projiciramo Solnce na nebesni oblok in ga vidimo na mestih 1, 2, 3 itd. Ekliptika, navidezna letna pot Solnca po nebesni krogli, bi bila po tem naziranju na nebesno kroglo projicirana pot Zemlje okoli Solnca.

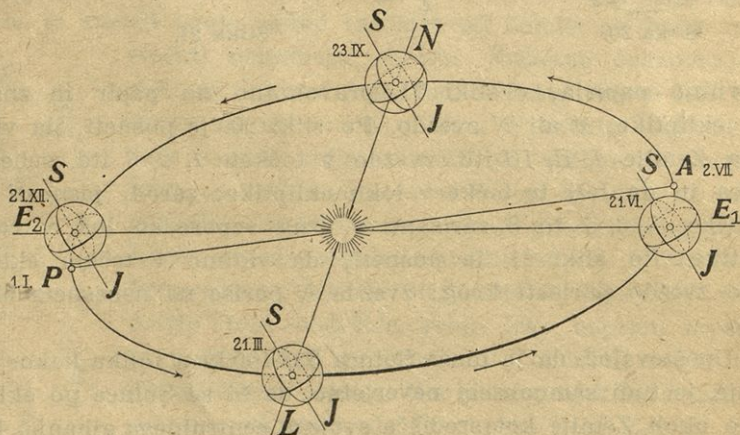


Slika 22.

Naziranje, da tekajo nebesna telesa okoli Zemlje, je staro „geocentrično“ naziranje, ki ga je utemeljeval Klavdij Ptolomej (125—160 po Kr.); „Ptolomejevo“ naziranje. Temu nasprotno je „heliocentrično“ naziranje, ki ga je prvi odločno izrekel Nikolaj Kopernik (1473—1543, „De revolutionibus...“): Zemlja in drugi planeti tekajo okoli Solnca. Po Kopernikovem naziranju ima Zemlja torej dvoje gibanj: vrti se okoli svoje osi in teka okoli Solnca;

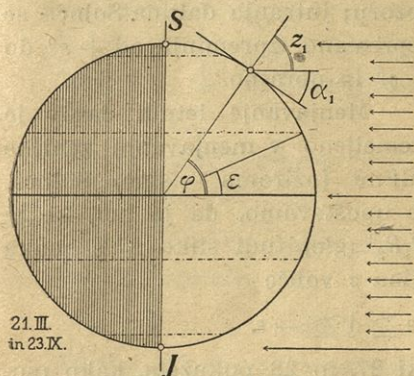
Zemlja „se vali“ okoli Solnca; „revolucijsko“ gibanje. Zemlja je planet, Luna je trabant (luna) Zemlje.

14. Gibanje Zemlje okoli Solnca. Opazovanje uči, da svetovni tečaj in polutnik ne izpremenita tekom leta svoje lege na nebesni krogli. Os Zemlje ima torej na svoji poti okoli Solnca vedno isto smer, ona se pomiče vzporedno sama s seboj. Ker je ekliptika po-

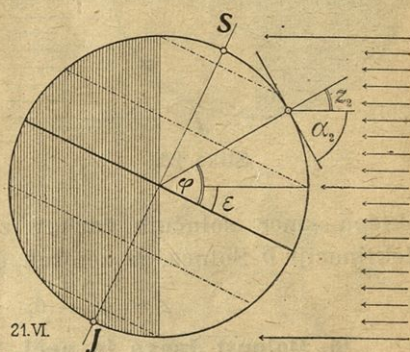


Slika 23.

vsod proti polutniku naklonjena za $\varepsilon = 23^{\circ} 27' 10.4''$, os Zemlje pa stoji pravokotno na ravnini polutnika in je ekliptika projekcija tira Zemlje na nebesni oblok, oklepa torej zemeljska os s svojim tirom kot $66^{\circ} 32' 49.6''$. Os Zemlje porišče tekom vsakega leta plašč valja, stoječega poševno na ekliptiki, v istem smislu, kakor se Zemlja vrti okoli svoje osi. V sliki 23. znači SJ zemeljsko os, premica LN spaja pomladišče in jesenišče, premica E_1E_2 spaja obe obratišči. Kjerkoli stoji Zemlja, je polovica nje razsvetljena od Solнца. V slikah 24., 25. in 26. pomeni ε naklon ekliptike, φ zemljepisno širino opazovališča, z zenitno daljino, α višino Solнца.



Slika 24.



Slika 25.

21. marca in 23. septembra 'gre glavni zemeljski krog, ki loči razsvetljeno polovico od temne polovice, skoz tečaja in os Zemlje; ta krog razpolovi vsak vzporednik, povsod na Zemlji je dan tako dolg kakor noč; na polutniku imajo Solnce v zenitu:

$$z_1 = \varphi, \quad \alpha_1 = 90^{\circ} - \varphi.$$

21. junija je sèverna polobla Zemlje obrnjena k Solncu, južna polobla od Solнца; glavni zemeljski krog, ki loči razsvetljeno polovico od temne polovice, je proti zemeljski osi naklonjen za ε ; na sèverni (južni) polobli med polutnikom in tečajnikom imamo najdaljši dan (najdaljšo noč) in najkrajšo noč (najkrajši dan); v sèvernem (južnem) mrzlem pasu nimajo noči (dneva); na sèvernem obratniku imajo Solnce v zenitu:

$$z_2 = \varphi - \varepsilon, \quad \alpha_2 = 90^{\circ} - (\varphi - \varepsilon).$$

21. decembra je sèverna polobla Zemlje obrnjena od Solнца, južna k Solncu; glavni zemeljski krog, ki loči razsvetljeno polovico

rednik kraja K v točkah A in B ; isti vzporednik je v sliki 28. položen v ravnino papirja. Del vzporednika AMB je nočni lok, del BKA je dnevni lok; prvi lok meri $2\alpha^0$, drugi $2\beta^0$, $\beta = 180 - \alpha$; če izračunimo kot α in upoštevamo, da je lok 360^0 v časovno mero preračunjen lok 24 ur, je dolgost noči $\frac{2\alpha}{15}$ ur, dolgost dneva $\frac{2\beta}{15}$ ur. Iz pravokotnih trikotnikov CDA , ODC in OKD dobimo

$$\cos \alpha = \frac{\overline{CD}}{\overline{DA}} = \frac{\overline{CD}}{\rho}, \quad \overline{CD} = \overline{DO} \tan \delta, \quad \overline{DO} = \rho \tan \varphi,$$

$$\cos \alpha = \tan \delta \cdot \tan \varphi, \quad \cos \beta = -\tan \delta \cdot \tan \varphi.$$

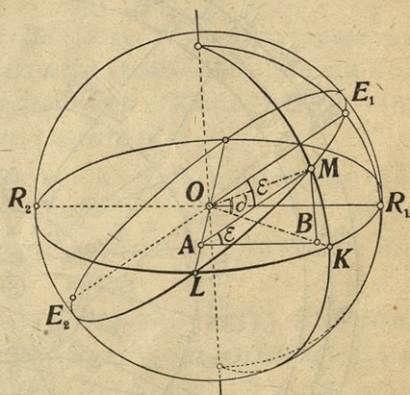
Ker je vobče $-1 \leq \cos \alpha \leq +1$, je za preračunjenje potrebno $-1 \leq \tan \delta \cdot \tan \varphi \leq +1$ ali $-\frac{1}{\tan \delta} \leq \tan \varphi \leq +\frac{1}{\tan \delta}$ in s pogojem, da je deklinacija pozitivna,

$$-\tan (90 - \delta) \leq \tan \varphi \leq +\tan (90 - \delta).$$

Če vzamemo za δ največjo vrednost $+23\frac{1}{2}^0$, dobimo

$$-66\frac{1}{2}^0 \leq \varphi \leq +66\frac{1}{2}^0;$$

enak rezultat dobimo za negativno deklinacijo; to se pravi: le med zemljepisnima širinama $-66\frac{1}{2}^0$ in $+66\frac{1}{2}^0$ se dan redno (vsakega solnčnega dne) menja z nočjo.



Slika 29.

Deklinacijo δ moremo brez astronomijskih aparatov z veliko približnostjo izračuniti. V sliki 29. je R_1R_2 nebesni polutnik, E_1E_2 ekliptika, L pomladišče, M stališče Solnca, $LM = \lambda$ je astronomijska dolžina, $KM = \delta$ je deklinacija Solnca; $\overline{MA} \perp \overline{OL}$, $\overline{MB} \perp \overline{OK}$;

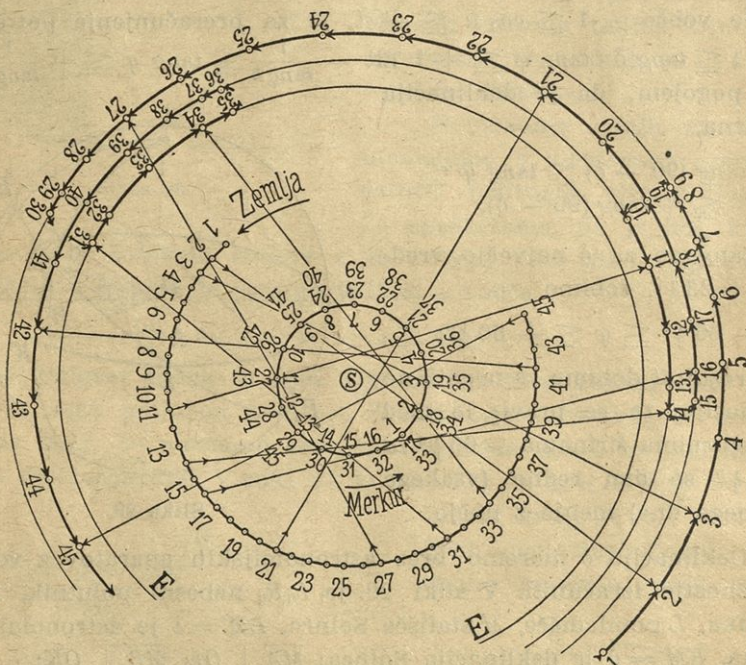
$$\sin \delta = \frac{\overline{MB}}{\overline{OM}}, \quad \frac{\overline{MB}}{\overline{AM}} = \sin \epsilon, \quad \frac{\overline{AM}}{\overline{OM}} = \sin \lambda,$$

$$\sin \delta = \sin \epsilon \cdot \sin \lambda.$$

Dne 21. marca je $\lambda = 0^0$, 21. junija je $\lambda = 90^0$, 23. septembra je $\lambda = 180^0$, 21. decembra je $\lambda = 270^0$. Recimo, da potrebujemo v računu deklinacijo za dan 1. maja. Od 21. marca do 21. junija je 92 dni; v tej dobi zraste astronomijska dolžina od 0^0 na 90^0 . Vemo, da navidezno gibanje Solnca po ekliptiki ni enakomerno; vendar je

pogrešek malenkosten, če vzamemo povprečni prirastek $\frac{9}{92}^0$ kot vsakdanji prirastek dolžine. Ker je 1. maj 41. dan po 21. marcu, je za ta dan $\lambda = \frac{9}{92} \cdot 41 = 40^0 6' 31''$ in $\sin \delta = \sin 23^0 27' 10.4'' \cdot \sin 40^0 6' 31''$.

16. Gibanje planetov okoli Solnca. Kakor izpreminjanje dolgoti dneva in noči in menjavanje letnih časov enostavno razjasnimo po Kopernikovem naziranju, tako enostavno razjasnimo navidezno gibanje planetov. V sliki 30. sta zaradi enostavnosti tir Zemlje in tir Merkurja položena kot kroga v skupno ravnino papirja in imata Solnce kot skupno središče. Ker je siderska obhodna doba Zemlje



Slika 30.

365.256 dni, siderska obhodna doba Merkurja 87.97 dni, obhodna doba Zemlje torej približno štirikrat toliko kakor Merkurja, obhodi po sliki 30. Merkur svoj tir dvakrat (1..17..33) v isti dobi, ko napravi Zemlja polovico svoje poti (1..33); gibanje po tiru je v sliki enakomerno. Istočasni stališči Zemlje in Merkurja sta označeni z enakim številom in z istim številom je označena točka na nebesnem obloku, kamor iz vsakega stališča Zemlje projiciramo pripadajoče stališče Merkurja; n. pr. Zemlja v 11 (ali 21), Merkur v 11

(ali 21), projekcija v 11 (ali 21). Po sliki je gibanje projekcije od 1 do 9, 15 do 30 in 36 do 45 napredno, od 10 do 14 in 31 do 35 obratno; ob 9, 14, 30 in 35 je projekcija Merkurja po sliki približno stacionarna.

Ker je v resnici tir Merkurja naklonjen proti tiru Zemlje, poriše projekcija na nebesnem obloku krivuljo z zankami ali drugače zavito črto.

17. Keplerjevi zakoni. Vemo, da navidezno gibanje Solnca po ekliptiki ni enakomerno. Opazovanje uči, da se tudi navidezni premer Solnca tekom leta izpreminja; največji je dne 1. januarja $32' 31.8''$, najmanjši je dne 2. julija $31' 27.6''$. Sklepati moramo, da Solnce ne stoji v središču kroga, ki ga obhodi Zemlja, ali da tir Zemlje ni krog.

Opirajoč se na podatke, ki jih je po večletnem opazovanju planeta Marta zbral Tycho de Brahe (1546—1601), in na druga trudapolna preračunavanja je astronom Ivan Kepler (1576—1631) izrekel tri osnovne zakone astronomije:

I. Tiri planetov so elipse, ki jim v enem gorišču stoji Solnce.

II. Provodnica od Solnca do planeta poriše v enakih dobah enake ploščine.

III. Razmerje med kvadrati (siderskih) obhodnih dob planetov je enako razmerju med kubi njihovih povprečnih razdalj od Solnca.

V geometriji se razdalja gorišča od središča glavne osi imenuje linearna ekscentriciteta. V astronomiji se navaja količnik med linearno ekscentriciteto in polovico glavne osi in se imenuje astronomijska (numerska) ekscentriciteta.

Planet	Linearna ekscentriciteta milijonov km	Astronomijska ekscentriciteta	Povprečna razdalja od Solnca		Naklon proti tiru Zemlje
			milijonov km	zemeljskih polumerov	
Merkur ...	11.9	0.206	57.9	0.3871	$7^{\circ} 0.2'$
Venus	0.7	0.007	108.1	0.7233	$3^{\circ} 23.6'$
Zemlja ...	2.5	0.017	149.5	1.0000	$0^{\circ} 0'$
Mars	21.3	0.093	227.7	1.5237	$1^{\circ} 51.0'$
Jupiter ...	37.5	0.258	777.6	5.2028	$1^{\circ} 18.7'$
Saturn ...	79.9	0.056	1425.7	9.5388	$2^{\circ} 29.7'$
Uran	134.9	0.046	2868.4	19.1910	$0^{\circ} 46.4'$
Neptun ...	38.3	0.0085	4494.5	30.0707	$1^{\circ} 46.8'$

Kepler je z računi odkril najprej II. zakon; po preizkušnjah z različnimi krivuljami je izrekel I. zakon in po nastopnem primeru tudi III. zakon: Razmerje (siderskih) obhodnih dob Merkurja in Marta (glej stran 18) je $687.98 : 87.97 \pm 8 : 1$; razmerje njih povprečnih razdalj od Solнца je $227.7 : 57.9 \pm 4 : 1$; velja $8^2 : 1^2 = 4^3 : 1^3$.

Stališče planeta, kjer je v največji ali najmanjši razdalji od Solнца, se imenuje afelij, oziroma perihelij. Premica, ki spaja obe stališči, se imenuje apsida (AP v sliki 23.). Kot, ki ga oklepa ravnina planetovega tira z ravnino ekliptike, se imenuje naklon tira. Presečišči planetovega tira z ekliptiko se imenujeta vozla; voz, ki se v njem južna širina izpremeni v severno, se imenuje navzgornji voz, ki se v njem južna širina izpremeni v severno, se imenuje navzdolnji voz.

18. Gravitacija. Newtonov zakon. Iz geometrike (Fizika 31.) poznamo „zakon o enakih ploščinah“ centralnega gibanja. Ker so Keplerjevi zakoni pridobljeni empiričnim potom, je gibanje planetov po II. Keplerjevem zakonu smatrati kot centralno gibanje, da deluje proti Solncu kot središču neka privlačna (centripetalna) sila.

Že leta 1666. je Newton povzel misel, da utegne energija prosto padajočih teles imeti isti izvor kakor sila, ki drži Luno v njenem tiru okoli Zemlje, da se zaradi sredobežnosti ne oddalji od Zemlje. Luna je od Zemlje oddaljena za $a = 60.278 r$ (zemeljskih polumerov) $\pm 384.420 \text{ km} = 3.8442 \cdot 10^{10} \text{ cm}$. Obod Luninega tira je približno $2a\pi \pm 120 r\pi \pm 378 r \pm 2410 \cdot 10^8 \text{ cm}$. Obhodna doba $t = 27.32 \text{ dni} = 23.6 \cdot 10^5 \text{ sekund}$. Tirna hitrost $c = \frac{2a\pi}{t} = 1021 \cdot 10^2 \text{ cm sek}^{-1}$ in centripetalni pospešek $\gamma = \frac{c^2}{a} = 0.27 \text{ cm sek}^{-2}$. Pospešek prostega pada je na površju Zemlje 981 cm sek^{-2} . Račun pokaže $981 : 0.27 \pm 3600 : 1 = 60^2 : 1^2 \pm a^2 : r^2$, kakor bi torej zemeljski pospešek pojemal proti Luni s kvadratom razdalje od središča Zemlje.

Ker je astronomijska ekscentriteta planetnih tirov majhna, smemo te elipse v enostavnem računu smatrati kot kroge. Na maso m , ki obkroži krog s polumerom R v dobi T , deluje centripetalna sila $P = \frac{4mR\pi^2}{T^2}$; torej je $P_1 : P_2 = \frac{m_1 R_1}{T_1^2} : \frac{m_2 R_2}{T_2^2}$. Po III. Keplerjevem zakonu je $T_1^2 : T_2^2 = R_1^3 : R_2^3$ in zaradi tega $P_1 : P_2 = \frac{m_1}{R_1^2} : \frac{m_2}{R_2^2}$.

Privlačna sila Solнца na planet je torej premo sorazmerna z maso planeta in obratno sorazmerna s kvadratom središčne razdalje. (Newton 1687.)

Hutton in Maskelyne (1774) sta na obeh straneh gorskega grebena Mount Shehallien prosto obesila telesi na dolgi niti in sta z merjenjem doglala, da niti nista imeli smeri k središču Zemlje, temveč sta bili proti gori naklonjeni za $5.83''$.

Cavendish (1798) je napravil ta-le poskus: Lahka lesena palica, v sredi pritrjena na dolgi žici, visi vodoravno in ima na koncih A in B (sommerno z ozirom na žico) enako težki svinčeni krogli (po 730 gramov); kadar postavimo središčno sommerno k A in B mnogo težji svinčeni krogli (po 158.000 gramov), se palica nakloni k težkima krogla in se žica zasučje.

Jolly je v Monakovem (1878—1881) napravil ta-le poskus: Na 30 m visokem stolpu je pripravil enakoročno tehtnico, obesil na eno skledico nit, ki je segala do tal stolpa, in je tehtnico tariral; potem je spodaj na nit obesil utež, drugo popolnoma enako utež pa je položil v drugo skledico vrh stolpa; tehtnica se je nekoliko nagnila na stran niže (bliže Zemlji) ležeče uteži.

Taki poskusi in z njimi napravljena natančna merjenja potrjuje Newtonov gravitacijski zakon:

Po dve masi delujeta tako druga na drugo, da dobi vsaka proti drugi pospešek v premici, ki jih spaja, in je pospešek privlačene mase premo sorazmeren s privlačečo maso in obratno sorazmeren s kvadratom razdalje.

Masi m_1 in m_2 se torej v medsebojni razdalji r privlačita s silo P , ki je premo sorazmerna z $m_1 \cdot m_2$ in obratno sorazmerna z r^2 , v znakih

$$P = \kappa \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

kjer pomeni κ sorazmerni faktor. Če zamenjamo m_1 in m_2 z enoto mase, r z enoto dolžine, vidimo, da je κ tista absolutna sila, ki se z njo privlačita enoti mase, oddaljeni druga od druge za 1 cm; faktor κ se imenuje gravitacijska konstanta. Medsebojna privlačnost svetovnih teles se namreč imenuje gravitacija ali obča privlačnost mas. Zemeljska privlačnost je samo poseben primer gravitacije.

Dognati tir planetov je bila še Keplerju samo geometrijska naloga; Newton je spravil gibanje planetov v sklad z zakoni mehanike.

19. Gravitacijska konstanta. Cavendish je v svojem poskusu (odstavek 18.) določil prožnostni odpor P zasukane žice in po enačbi $P = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}$, kjer znači r središčno razdaljo krogle z maso m_1 na koncu palice in poleg nje stoječe težje krogle z maso m_2 , izračunil κ .

Po Jollyjevem načinu izračunimo κ tako-le: Na dolgo nit, ki visi z ene skledice tehtnice, obesimo kroglo A in tariramo tehtnico; pod A postavimo težko svinčeno kroglo B ; tehtnica se nagne na stran krogle A ; z utežmi doženemo, za koliko je prirastla absolutna teža krogle A . (Kroglo A obesimo na dolgo nit zaradi tega, da krogla B znatno ne vpliva na utež v drugi skledici.) Recimo, da ima krogla A absolutno težo mg gramov

($g = 981 \text{ cm sek}^{-2}$), kroglja B ima absolutno težo 10^6 gramov; kadar imata krogli središčno razdaljo 40 cm , postane krogla A pod vplivom krogla B za $\frac{43}{10^9}$ svoje absolutne teže težja. Krogla B privlači torej kroglo A s silo

$$P = mg \cdot \frac{43}{10^9} = m \cdot \frac{42183}{10^9}.$$

Po enačbi $m \cdot \frac{42183}{10^9} = \kappa \cdot \frac{10^6 \cdot m}{40^2}$ dobimo $\kappa = \frac{42183 \cdot 40^2}{10^{15}} \pm 6.75 \cdot 10^{-8}$. Po novejših poskusih (Richarz in Krigar-Menzel) je gravitacijska konstanta $\kappa = 6.685 \cdot 10^{-8}$.

20. Mase svetovnih teles. V nastopnem znači M maso Solnca, m maso planeta, μ maso planetove lune, R razdaljo planeta od Solnca, a razdaljo lune od planeta, T obhodno dobo planeta okoli Solnca, t obhodno dobo lune okoli planeta.

Ker vzdržuje medsebojna privlačna sila dveh mas ravnotežje centrifugalnemu odporu, veljajo enačbe

$$\kappa \cdot \frac{Mm}{R^2} = \frac{4mR\pi^2}{T^2} \text{ ali } \kappa \cdot \frac{M}{4\pi^2} = \frac{R^3}{T^2}$$

$$\kappa \cdot \frac{m\mu}{a^2} = \frac{4\mu a\pi^2}{t^2} \text{ ali } \kappa \cdot \frac{m}{4\pi^2} = \frac{a^3}{t^2}$$

in končno $\frac{M}{m} = \frac{R^3 t^2}{a^3 T^2}$. Ker so nam povprečne razdalje planetov od Solnca in lun od planetov in njihove obhodne dobe znane, moremo na ta način z veliko približnostjo izračunati količnik med maso Solnca in maso planeta, ki ima svojo luno. Po računu za Solnce, Zemljo in Luno dobimo, da je masa Solnca približno 333.400krat toliko kakor masa Zemlje. Ker je prostornina Solnca približno 1,295.000krat toliko kakor prostornina Zemlje, je povprečna masa, ki jo ima Solnce v prostorninski enoti, ali z drugimi besedami: gostota Solnca je $\frac{333400}{1295000} \pm \frac{1}{4}$ gostote Zemlje.

Maso Zemlje izračunimo tako-le: Na Zemlji ležeče telo ima maso m_1 in absolutno težo $p = m_1 g$. Absolutna teža telesa je enaka sili, ki se z njo privlačita telo in Zemlja; njih središčna razdalja je polumer Zemlje r in je po gravitacijskem zakonu

$$m_1 g = \kappa \cdot \frac{m \cdot m_1}{r^2} \text{ in } m = \frac{g \cdot r^2}{\kappa}.$$

Zaradi $g = 981$, $r = 637 \cdot 10^6$ in $\kappa = 6.685 \cdot 10^{-8}$ je masa Zemlje približno $5950 \cdot 10^{24}$ gramovih ali 5950 trilijonov toninih mas. (1 tona = 10 q à 100 kg.)

Ker je prostornina Zemlje $v \pm \frac{4}{3} r^3 \pi \pm 1082$ trilijonov m^3 , je povprečna absolutna masa, ki jo ima 1 m^3 Zemlje, enaka $\frac{5950}{1082} \pm 5.5$;

s tem številom je torej izražena povprečna gostota Zemlje. Po največjih računih je povprečna gostota Zemlje 5.505. Ker imajo vrhnje plasti Zemlje veliko manjšo gostoto, namreč povprečno 2.5, je torej prav verjetno, da sestoji osrčje Zemlje iz težkih kovin.

Ko poznamo maso Zemlje, lahko po zgoraj navedenem načinu izračunimo maso Solнца in to uporabimo za izračunanje mase planeta.

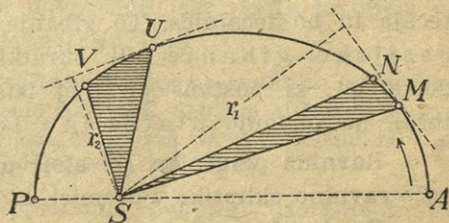
Merkur in Venus nimata lun; maso teh planetov moramo izračunati na drug način. Po Newtonovem gravitacijskem zakonu se privlačita po dve svetovni telesi; te sile vplivajo na tir planeta okoli Solнца, da ni tak, kakršen bi bil, če bi samo Solnce privlačilo planet. Izpremembe, ki zaradi tega nastanejo, se imenujejo perturbacije. N. pr. menjava tir Zemlje svojo ekscentriciteto, naklon proti nebesnemu polutniku in dolžino perihelija. Ko še niso poznali planeta Neptuna, se tir že znanega planeta Urana, kakor so ga izračunili po Newtonovem zakonu z upoštevanjem perturbacij sosednjih planetov, ni ujemał z resnično opazovanim tirom. V zaupanju na pravilnost Newtonovega zakona in natančnost računov sta astronoma Francoz Leverrier in Anglež Adams (Pariz 1846) izrekla mnenje, da mora biti zunaj Uranovega tira dotlej neznan planet, ki znatno vpliva na tir Urana; izračunila sta celo tir tega še neznanega planeta in mu določila lego. Res je nekaj dni pozneje Galle (Berlin 1846) odkril na označenem mestu novi planet Neptun; ta dogodek smemo upravičeno prištevati med največje triumfe, ki jih zasluži temeljitost prirodnoznanstvenega raziskavanja.

Maso Merkurja izračunijo iz perturbacij Venere, maso Venere iz perturbacij Merkurja, Zemlje in Marta.

Maso Lune lahko izračunimo iz njene perturbacije na os Zemlje; masa Zemlje je 81.45krat toliko kakor masa Lune.

21. Pravo gibanje Zemlje. Tir Zemlje okoli Solнца je elipsa, ki jo obhodi Zemlja v dobi enega siderskega leta; v dobi enega zvezdnega dne se Zemlja enkrat zavrti okoli svoje osi. Oko, ki si ga mislimo ob tečaju ekliptike, vidi oboje gibanje v nasprotnem smislu urnega kazalca; oboje gibanje skupaj se imenuje revolucijsko gibanje. Že v odstavku 5. je omenjeno, da navidezno gibanje Solнца po ekliptiki ni enakomerno. Sklepati moramo, da se Zemlja po svojem tiru ne giblje enakomerno.

Recimo, da ima Zemlja v M hitrost v_1 , v U hitrost v_2 (sl. 31., kjer pa je astronomijska ekscentriciteta in velikost lokov MN in UV močno pretirana). V enakih prav kratkih dobah τ prehodi Zemlja loka $MN \neq v_1\tau$, oziroma



Slika 31.

$UV \pm v_2 \tau$. Po II. Keplerjevem zakonu sta izseka MSN in USV enako velika. Če zaznamenujemo pravokotnici iz S na dotikalnici elipse v M in U z r_1 , oziroma r_2 , je $MSN \pm \frac{1}{2} v_1 \tau \cdot r_1$, $USV \pm \frac{1}{2} v_2 \tau \cdot r_2$ in $v_1 \cdot r_1 = v_2 \cdot r_2$ ali $v_1 : v_2 = r_2 : r_1$. Hitrost v različnih točkah tira je obratno sorazmerna z dolžino pravokotnice, narisane iz gorišča S elipse, kjer stoji Solnce, na dotikalnico elipse v dotični točki tira. Neenakomernost gibanja Zemlje je torej utemeljena v Keplerjevih zakonih in ima Zemlja največjo hitrost v periheliju, najmanjšo hitrost v afeliju (slika 23.).

Doslej smo trdili, da ima vrtilna os Zemlje stanovitno smer proti isti nebesni točki; natančna opazovanja daljših dob pa uče, da se tudi smer zemeljske osi izpreminja v svetovnem prostoru. Po sliki 23. si predočujemo tir Zemlje postavljen pravokotno na ravnino papirja, da leži zemeljska os 21. decembra v ravnini papirja s severnim koncem naklonjena na levo. Zemeljska os izpreminja svojo smer tako-le: po približno 6500 letih bi ležala v ravnini, ki stoji pravokotno na ravnino papirja in ravnino tira, in bi bil njen severni konec naklonjen za ravnino papirja; po 13000 ($= 6500 \cdot 2$) letih bi ležala os zopet v ravnini papirja in bi bil njen severni konec naklonjen na desno; po 19500 ($= 6500 \cdot 3$) letih bi ležala os v ravnini, ki stoji pravokotno na ravnino papirja in ravnino tira, in bi bil njen severni konec naklonjen pred ravnino papirja; po 26000 ($= 6500 \cdot 4$) letih bi imela os zopet enako lego kakor v sliki; vedno pa ostane os enako naklonjena proti tiru (za približno $66^\circ 33'$).

Zemeljska os poriše torej v približni dobi 26000 let približno plašč stožca, ki mu gre geometrijska os skoz tečaja ekliptike. Svetovni tečaj poriše v tej dobi okoli tečaja ekliptike približno krog s polumerom $23^\circ 27'$, in sicer očesu, ki si ga mislimo nad tečajem, v smislu urnega kazalca, torej v nasprotnem smislu revolucijskega gibanja. Tečajnica, ki stoji v današnjih časih $1^\circ 10'$ od svetovnega tečaja, se tečaju približuje in bo leta 2095. od njega samo še $26'$ oddaljena. Po 12000 letih bo zvezda Vega stala približno 5° blizu tečaja in bo tečajnica. To gibanje zemeljske osi se imenuje precesijsko gibanje ali skratka precesija. Doba približno 26000 let, ki postane po njej ista nebesna točka zopet svetovni tečaj, se imenuje platonsko leto.

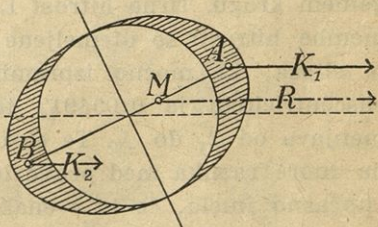
Ravnina polutnika (ki stoji pravokotno na vrtilni osi Zemlje) seče ravnino ekliptike v premici, ki spaja točki enakonočja. Z vrtilno osjo Zemlje izpreminja tudi polutnikova ravnina svojo lego; ker

obdrži ravnina ekliptike svojo lego, se izpreminja torej presečnica obeh imenovanih ravnin; na ta način pa nastane opazovano pomikanje pomladišča v ekliptiki v nasprotnem smislu štetja rektascenzije (ali dolžine) za približno $50''$ vsako leto; $360 \cdot 60 \cdot 60 : 26000 \pm 50$.

Zaradi precesije pomladišča je tropsko leto krajše od siderskega in se izpreminja astronomijska dolžina zvezd, zaradi precesije nebesnega polutnika in svetovnega tečaja se izpreminjata rektascenzija in deklinacija nebesnih točk; iz istega vzroka se izpremenijo tekom daljših dob nadobzornice opazovališča.

S tem je n. pr. pojasnjeno mesto v Homerju, kjer se omenja, da sprednja zvezda (γ) v ojesu Velikega voza tedaj ni bila nadobzornica; dejstvo, da se dandanes znamenja zodijska ne ujemajo z dotičnimi ozvezdji, kakor je to bilo v onih časih (pred približno 3000 leti), ko so imena ozvezdij najbrže nastala.

Precesijo razjasnimo s pojavi, ki jih opažamo na vrtavki. Kadar nagnemo os vrtavke, ko ima veliko kotno hitrost, nastane precesijsko gibanje. Vrtilna os Zemlje je njena prosta os; Zemlja je sploščena; lahko si jo predočujemo kot kroglo, opasano s svitkasto nabrekliho, ki ji debelina pojema od polutnika proti tečajema (slika 32.). Solnce privlači ob polutniku ležeči del svitka A , ki mu leži bliže, z jačjo silo nego nasprotni del B . Rezultanta R komponent K_1 in K_2 ne gre skoz središče Zemlje; prijemališče M rezultante stoji po sliki više nego središče Zemlje. Rezultanta izkuša os Zemlje postaviti pravokotno na tir Zemlje, torej os nagniti (zmanjšati naklon), in pojav, ki zaradi tega nastane, je precesijsko gibanje, kakor pri vrtavki.



Slika 32.

Pot svetovnega tečaja okoli tečaja ekliptike pa je le približna krožnica. Od krožnice, ki leži povsod $23^{\circ} 27'$ od tečaja ekliptike, se svetovni tečaj v krajših presledkih nekoliko oddaljuje in se ji zopet približuje tako, da porišo zemeljska os pravzaprav valovito nagubljen stožčast plašč okoli osi ekliptike. Gibanje zemeljske osi okoli one povprečne lege, ki bi jo imela os samo zaradi precesije, se imenuje nutacija.

Kakor nastane precesija pod vplivom Solнца na svitkasto nabrekliho ob polutniku Zemlje, tako pripisujemo nastanek nutacije sličnemu vplivu Lune. Zaradi nutacije same bi porisala zemeljska os v približno 19 letih plašč stožca okoli povprečne lege s polumerom $14''$ do $19''$.

Tudi naklon ekliptike se polagoma nekoliko izpremeni. Po računih Newcoma (po njegovih računih so vzeti tudi vsi drugi

nastopni podatki) je za leto 1900. naklon ekliptike $23^{\circ} 27' 8.26''$ in pojema naklon v 100 letih za $46.845''$; najmanjši naklon $22^{\circ} 38'$ bo nekako v letu 11000. Te izpremembe pripisujemo gravitacijskim vplivom planetov na Zemljo.

Precesija in nutacija in izpremembe naklona ekliptike se tičejo lege tira Zemlje v svetovnem prostoru. Izpreminja se pa tudi oblika tira Zemlje v tirni ravnini. Za leto 1900. je ekscentriciteta 0.01675104 in pojema v 100 letih za 0.00004180 , dolžina perihelija je $101^{\circ} 13' 15''$ in zraste vsako leto za $61.89''$. Doba med dvema zaporednima prehodom Zemlje skoz perihelij se imenuje anomalno leto. Ker se giblje perihelij v smislu rastočih dolžin, je anomalno leto daljše od siderskega in tem daljše od tropskega; za leto 1900. je doba anomalnega leta $365^d 6^h 13^m 53.01^s$ in priraste v 100 letih za 0.262^s .

Povprečna razdalja Zemlje od Solнца pa je stanovitna; to razdaljo vzamemo v astronomijskih podatkih kot dolžinsko enoto.

22. Pravo gibanje Lune. Luna je trabant planeta Zemlje. Ravnina luninega tira je proti ekliptiki naklonjena za $5^{\circ} 8' 40''$, gre skoz središče Zemlje in seče torej nebesno kroglo v glavnem kroglu. Tirna hitrost Lune se prav znatno izpreminja. Izpremembe hitrosti so utemeljene v obliki tira. Tir Lune okoli Zemlje je elipsa, ki močno izpreminja svojo ekscentriciteto; povprečna ekscentriciteta je 0.05491 , torej približno $\frac{1}{18}$; ekscentriciteta se menjava od $\frac{1}{14}$ do $\frac{1}{20}$. Te ekscentricitete so razmeroma tako velike, da more razlika med pravo lego Lune in ono lego, ki bi jo Luna istočasno imela, če bi v enaki dobi svoj tir enakomerno obhodila, doseči največjo vrednost $6^{\circ} 17' 12.7''$; ta največja razlika se imenuje središčna enačba.

Točki tira, kjer je Luna od Zemlje najmanj ali najbolj oddaljena, se imenujeta perigej, oziroma apogej. Perigej se giblje po tiru v smislu rastočih dolžin (v smislu gibanja Lune) in obhodi tir v dobi 8 let 310.6 dni, se premakne torej vsako leto za $40^{\circ} 40' 31.1''$ ali v dobi siderskega meseca za $3^{\circ} 2' 33.7''$. Doba med dvema zaporednima prehodom Lune skoz perigej se imenuje anomalni mesec; ta mesec je daljši od siderskega in traja $27^d 13^h 18^m 33.1^s$.

Vozlovka (presečnica ravnine luninega tira z ravnino ekliptike) izpreminja svojo lego tako, da vsak vozel obhodi lunin tir v dobi 18 let 218.9 dni v nasprotnem smislu, nego se giblje Luna po tiru; zaradi tega je zmajski mesec krajši od siderskega.

Konjunkcija ali opozicija Lune s Solncem se imenuje sizigij; stališče Lune v sredi med sizigijema in kvadraturama se imenuje oktant.

Izpremembe luninega gibanja so:

evekcija, t. j. periodska izprememba ekscentricitete luninega tira zaradi gravitacije Solнца na Luno; evekcija se ravna po legi apside napram Solncu, je največja v sizigijih in kvadraturah in more lego Lune izpremeniti največ za $1^{\circ} 16' 27''$;

variacija, t. j. periodska izprememba lunine lege v tiru zaradi gravitacije Solнца na Luno; variacija je najjačja v oktantih in more lego Lune izpremeniti za največ $39' 30.7''$;

letna enačba, t. j. izprememba lunine lege za največ $11' 9''$, ki je utemeljena v obliki tira Zemlje, da je vpliv Solнца na Luno v zimski dobi jačji nego v poletni dobi;

periodska izprememba naklona luninega tira, ki se ravna po legi Solнца napram ravnini luninega tira; največji naklon je $5^{\circ} 19'$, najmanjši je $4^{\circ} 57'$;

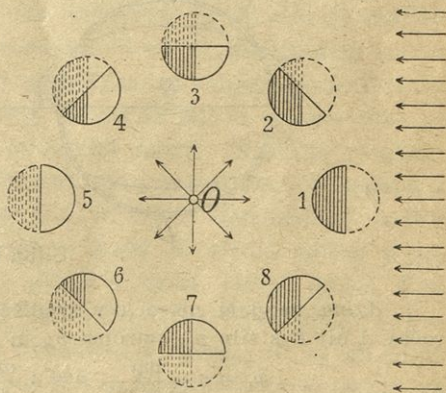
paralaksna enačba, t. j. periodska izprememba luninega gibanja, ki se ravna samo po razdalji Zemlje od Solнца, in je pomembna za določanje paralakse Solнца.

Faze Lune nastanejo, ker je Luna (z veliko približnostjo) kroglja, ki sama ne svetli. Solnce razsvetli polovico Lune; k Zemlji obrnjeno polovico Lune pa vidimo lahko vso temno, vso svetlo, ali le njen k Solncu obrnjeni del razsvetljen, kakršno lego pač ima Zemlja napram Luni in Solncu. Primerjaj sliko 33., kjer si je v *O* misliti opazovalčevo oko

proti Luni, s sliko 9.!

Kadar je navzgornji vozec luninega tira v pomladišču, je lunin tir naklonjen proti nebesnemu polutniku približno za $32^{\circ} 27' + 5^{\circ} 9' = 28^{\circ} 36'$ in Luna izpreminja v dobi svojega obhoda svojo deklinacijo med $+28^{\circ} 36'$ in $-28^{\circ} 36'$. Kadar pa je navzgornji vozec v jesenišču, je lunin tir naklonjen proti polutniku za $23^{\circ} 27' - 5^{\circ} 9' = 18^{\circ} 18'$ in Luna izpreminja v obhodni dobi svojo deklinacijo med $+18^{\circ} 18'$ in $-18^{\circ} 18'$. Deklinacija Lune je torej jako izpremenljiva in tako je izpremenljiv vpliv svetlobe polne lune.

Z daljnogledom opažamo, da ima Luna vedno isto stran površja obrnjeno k Zemlji. Če bi Luna ne imela nikakega drugega gibanja nego obhod po tiru, bi morali tekom siderskega meseca videti Luno od vseh strani. Tako pa moramo sklepati, da se Luna



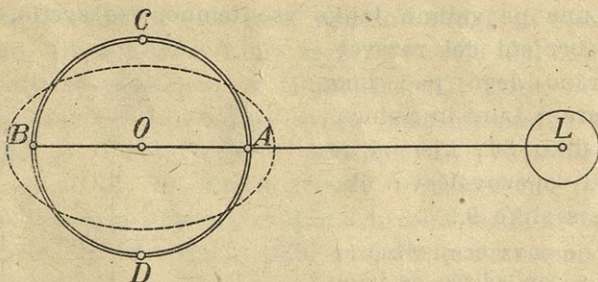
Slika 33.

v dobi siderskega meseca enkrat zavrti okoli svoje osi. Opazovanje oblike vidnega površja uči, da se vrti Luna okoli svoje osi popolnoma enakomerno, naj so druge izpremembe v luninem tiru kakršnekoli.

Skroz središče Lune pravokotno na njeno os postavljena ravnina se imenuje polutniška ravnina Lune; polutnik Lune oklepa z ekliptiko kot $1^{\circ} 32' 6''$; vrtilna os Lune stoji torej skoraj pravokotno na ravnini ekliptike. Ravnina ekliptike leži med ravnino luninega tira in ravnino luninega polutnika; vse tri ravnine imajo skupno presečnico. Po zakonih gravitacije Zemlje na Luno bi Luna morala biti elipsoid, ki so mu tri osi različne in je najdaljša os namerjena k Zemlji. Razlika osi je premajhna, da bi se dala določiti z opazovanjem; po računu (Franz) ne dosega podaljšek osi proti Zemlji niti 2 km.

23. Plimovanje (bibavica). Periodsko dviganje in nižanje nivoja na odprtem morju, ki se imenuje plimovanje ali bibavica (plima in oseka), si razjasnujemo kot učinek gravitacije Lune in Solнца na Zemljo.

V nastopnem znači M maso Solнца, m maso Lune, μ maso v določeni točki Zemlje, r polmer Zemlje, a središčno razdaljo med Zemljo in Luno, R središčno razdaljo med Zemljo in Solncem. Po sliki 34. ima točka A na Zemlji Luno L v zenitu.



Slika 34.

Luna privlači maso μ v središču Zemlje O s silo p , enako maso v točki A ali B s silo p_1 , oziroma p_2 , in je

$$p_1 = \kappa \frac{m\mu}{(a-r)^2}, \quad p = \kappa \frac{m\mu}{a^2}, \quad p_2 = \kappa \frac{m\mu}{(a+r)^2} \quad \text{in}$$

$$p_1 : p : p_2 = \frac{a^2}{(a-r)^2} : 1 : \frac{a^2}{(a+r)^2} \pm \left(1 + \frac{2r}{a}\right) : 1 : \left(1 - \frac{2r}{a}\right).$$

Zaradi $a \pm 60r$ je $\frac{2r}{a} = \frac{1}{30}$ in $p_1 : p : p_2 = 31 : 30 : 29$. Privlačna sila na točko A je najjačja; zaradi prebitka $f = p_1 - p = \frac{p}{30}$ se morje v A vzdigne (zenitna plima); privlačna sila na O je jačja nego na B ; zaradi prebitka $f = p - p_2 = \frac{p}{30}$ se morje v B oddalji od O , torej tudi vzdigne (nadirna plima). Če bi bila vsa Zemlja z morjem pokrita, bi bila v krajih C in D istočasno oseka in površje morja bi imelo v sliki naznačeno obliko.

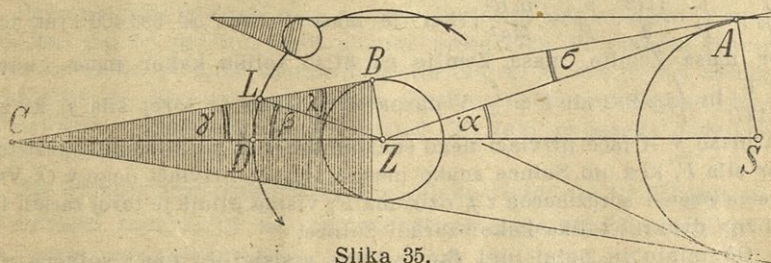
Solnce si mislimo tudi v zenitu zemeljne točke A ; Solnce privlači maso μ v središču O , v točki A in v točki B s silami P , P_1 , oziroma P_2 ; njihove izraze dobiš, če v izrazih za p , p_1 in p_2 zamenjaš m z M in a z R . Zaradi $R \pm 23440 r$ je $\frac{2r}{R} = \frac{1}{11720}$ in $P_1 : P : P_2 = 11721 : 11720 : 11719$. Solnce privlači točko A za $F = P_1 - P = \frac{P}{11720}$ jače nego točko O . Primerjajmo prebitka f in F ; $\frac{f}{F} = \frac{p}{P} \cdot \frac{1172}{3}$; $\frac{p}{P} = \frac{mR^2}{Ma^2}$; ker je masa Solnca M 333.400 krat toliko kakor masa Zemlje, masa Zemlje pa 81.45 toliko kakor masa Lune, je $\frac{p}{P} \pm \frac{1}{177}$ in $\frac{f}{F} \pm 2.2$ ali $F \pm \frac{f}{2}$. V naznačenih legah je torej sila f , ki z njo Luna maso v A jače privlači nego enako maso v O , približno dvakrat toliko kakor sila F , ki z njo Solnce enako maso v A jače privlači nego v O . Višina plime je premo sorazmerna z f , oziroma F ; višina plime je torej zaradi Lune približno dvakrat toliko kakor zaradi Solnca.

Ob mlaju in polni luni (ko je Luna v sizigijih) ojači solnčna plima lunino plimo in nastane najvišja plima, ki je sorazmerna z izrazom $f + \frac{f}{2} = \frac{3}{2}f$; ko je Luna v kvadraturah, oslabi solnčna plima lunino plimo in nastane najnižja plima, ki je sorazmerna z izrazom $f - \frac{f}{2} = \frac{1}{2}f$; najvišja plima je približno trikrat toliko kakor najnižja. Najvišja in najnižja plima se menjata tekom meseca dvakrat.

Plima se pojavi vselej ob kulminacijah Lune; ker se zgornja kulminacija Lune zakesni vsak dan približno za 53 minut, nastopi torej plima vsakih $12^h 26 \frac{1}{2}^m$ in približno 6 ur po kulminaciji se pojavi oseka. Za Luno se vsak dan pomikata od vzhoda proti zahodu dva postopna plimska vala. Višina plime se ravna seveda tudi po obliki morskega obrežja in po globočini morja. Najvišja je plima v zalivih, kamor se postopna plimska vala zaganjata. V nekaterih krajih more plima doseči višino 15—16 m. V Jadranskem morju je plimovanje razmeroma majhno; v Krfu je višina plime 6 cm, približno 5 ur kesneje doseže ta plima v Trstu višino 60 cm. Čas, obkorej imajo v pristanišču najvišjo plimo, se imenuje pristaniški čas. Ta čas se ne ujema natančno s časom, ki bi ob njem po teoriji morala plima v dotičnem kraju nastopiti; opazovanje pa uči, da je za vsak obrežni okraj časovna razlika precej stanovitna.

24. Mrki. Za neprozornimi telesi, ki sama ne svetijo (ki so „temna“) in so samo z ene strani osvetljena, imamo temen prostor, imenovan senca. Obliko sence dobimo, če položimo dotikalnice iz skrajnih točk svetila na skrajne točke temnega telesa. Prostor, kamor ne pride noben svetlobni žarek, se imenuje popolna senca; poleg nje je polusenca, t. j. prostor, kamor pridejo svetlobni žarki samo z določenega dela svetila. Solnce je svetilo, Zemlja in Luna sta

temni telesi. V sliki 35. je črtani trikotnik prerez popolne sence, ki ima obliko stožca. Točka C je vrh zemeljskega senčnega stožca, ki mu je SC geometrijska os; ta os vodi k točki ekliptike, ki leži Solncu ravno nasproti. V povprečni razdalji $LZ = DZ$ Lune od Zemlje je premer zemeljske sence približno $2\frac{2}{3}$ krat tolik kakor



Slika 35.

premer Lune; vsa Luna more torej stopiti v senco Zemlje in se popolnoma potemniti, popolnoma mrkniti: popolni (totalni) mrk Lune. Iz slike je razvidno, da more mrk Lune nastati le tedaj, kadar je Luna s Solncem v opoziciji, torej ob polni luni; uvaževati pa je treba, česar slika ne kaže, da je tir Lune proti tiru Zemlje naklonjen za približno 5° . Kadar pokrije zemeljska senca le del Lune, je delni (parcielni) mrk Lune.

Kako mora Luna ležati napram Zemlji, da nastane mrk Lune, izvemo po sliki 35. tako-le:

- ✧ $SZA = \alpha =$ navidezni polumer Solнца $= 15' 59.63''$
- ✧ $BAZ = \sigma =$ paralaksa Solнца $= 8.804''$
- ✧ $ZLB = \lambda =$ paralaksa Lune $= 57' 2.68''$
- ✧ $LZD = \beta =$ navidezni polumer prereza zemeljske popolne sence v razdalji Lune od Zemlje.

Po $\triangle CZL$ je $\gamma = \lambda - \beta$, po $\triangle CZA$ je $\gamma = \alpha - \sigma$ in $\lambda - \beta = \alpha - \sigma$ ali $\beta = \lambda + \sigma - \alpha = 41' 11.854'' \pm 41' 12''$. Kot β pa nam pove navidezni polumer onega kroga, ki je pravokotni prerez zemeljskega senčnega stožca v povprečni razdalji Lune od Zemlje in mu središče leži v ekliptiki; temu krogu rečemo skratka senčni krog. Navidezni polumer Lune je $15' 32.59'' \pm 15' 33''$; Luna se torej senčnega kroga zunaj ali znotraj dotika, kadar je središče Lune od središča senčnega kroga oddaljeno za $41' 12'' \pm 15' 33'' = 56' 45''$, oziroma $41' 12'' - 15' 33'' = 25' 39''$. Ko imamo polno luno, imata središče Lune in središče senčnega kroga enako astronomijsko dolžino; ker pa je tir Lune proti ekliptiki naklonjen za približno 5° , ni središče Lune od središča senčnega kroga takrat najmanj oddaljeno, kadar imata obe središči isto astronomijsko dolžino (stojita v istem širinskem krogu), temveč kadar je središče Lune v smeri, ki je proti širinskemu krogu središča senčnega kroga naklonjena za 5° . Računi povedo, da smemo zaradi tega zgoraj

dobljena zneska nekoliko zvišati. Delni mrk Lune nastane, kadar ima središče Lune ob polni luni manjšo širino nego $56'49''$ in večjo širino nego $25'43''$; popolni mrk Lune nastane, kadar ima središče Lune ob polni luni manjšo širino nego $25'43''$.

Po sličnih računih izvemo, da se Luna dotakne ali popolnoma skrije v polusenci Zemlje, kadar ima njeno središče astronomijsko širino $1^{\circ}28'43''$, oziroma $57'37''$.

Luna se giblje blizu ekliptike v istem smislu (proti vzhodu) kakor senca Zemlje, vendar pa mnogo hitreje; Luna stopi torej v senco Zemlje na svoji zahodni strani, t. j. pri mrku se začne Luna temniti na svojem vzhodnem robu. Vsi kraji, ki imajo Luno nad obzorom, vidijo mrk Lune istočasno in je istočasni pojav za vse te kraje enak. Kadar gre Luna centralno skoz senco Zemlje, more popolni mrk trajati dve uri.

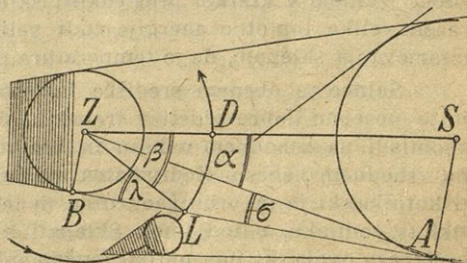
Ko je Luna s Solncem v konjunkciji, imamo mlaj in je senčni stožec Lune s svojim vrhom obrnjen k Zemlji. r znači polumer Zemlje, a znači razdaljo med središčema Zemlje in Lune.

Kadar je Luna ob mlaju v perigeju, je vrh senčnega stožca od središča Lune oddaljen za $1.057 a$, senčni stožec Lune je torej daljši nego a in more Luna zemljanom na določenem delu površja Zemlje popolnoma prikriti pogled na Solnce; tako nastane popolni (totalni) mrk Solнца (pravzaprav je ta pojav delni mrk Zemlje); v polusenci Lune ležeči del Zemlje ima delni (parcielni) mrk Solнца.

Kadar je Luna ob mlaju v apogeju, je vrh senčnega stožca od središča Lune oddaljen za $0.883 a$; ker je $r \pm 0.015 a$, je Luni najbližje ležeča točka Zemlje oddaljena od središča Lune za $0.985 a > 0.883 a$ in senčni stožec Lune ne doseže Zemlje. Kadar v tej legi geometrijska os senčnega stožca Lune zadene Zemljo, je na dotičnem delu površja Zemlje zemljanom Solnce centralno prikrito; ker pa je navidezni polumer Lune manjši nego navidezni polumer Solнца, ni mrk Solнца popoln, temveč obročast.

Kako mora Luna ležati napram Zemlji, da nastane mrk Solнца, izvemo po sl. 36. tako-le:

Koti α , σ in λ imajo isto vrednost kakor v sliki 35.; $\beta - \alpha = \lambda - \sigma$ in $\beta = \alpha - \sigma + \lambda \pm \pm 10^{\circ}12'54''$. Kot β pove navidezni polumer onega kroga, ki je v razdalji Lune od Zemlje pravokotni prerez stožca, ogrinja-



Slika 36.

jočega Solnce in Zemljo in ki mu središče leži v ekliptiki. Da stopi vsaj najskrajnejša točka Zemlje v senco Lune, mora torej po našem računu biti središče Lune oddaljeno od ekliptike vsaj za $1^{\circ}12'54'' + 15'33'' = 1^{\circ}28'27''$. Ta znesek se zaradi naklona luninega tira v perigeju zviša na $1^{\circ}34'17''$, v apogeju zniža na $1^{\circ}23'5''$. Da nastane popolni ali obročasti mrk Solnca, mora vsa Luna stopiti v stožec, ki ogrinja Solnce in Zemljo in sme po našem računu središče Lune biti od ekliptike oddaljeno največ za $1^{\circ}12'54'' - 15'33'' = 57'21''$. Ta znesek se zaradi naklona luninega tira v perigeju zviša na $1^{\circ}1'43''$, v apogeju zniža na $53'43''$.

Ob mlaju imamo torej gotovo delni ali popolni mrk Solnca, kadar je astronomijska širina središča Lune manjša nego $53'43''$, oziroma $1^{\circ}23'5''$.

Ker ne more senca Lune nikdar pokriti vse Zemlje, je pojav in potek solnčnega mrka na raznih krajih Zemlje različen. Čim bolj je kraj od geometrijske osi luninega senčnega stožca oddaljen, tem manjši del Solnca mu je prikrit. Popolni mrk Solnca traja največ $7^m 58^s$.

Da nastane mrk, ne sme torej imeti Luna večje astronomijske širine nego je v naših podatkih določeno. Mrk nastane ob polni luni, oziroma mlaju, kadar je Luna blizu vozlov. Največje število mrkov v letu more biti 7, 5 solnčnih in 2 lunina mrka. Ker je 242 zmajskih mesecev do 53 minut natančno toliko kakor 223 sinodskih mesecev in se po tej dobi („Saros“) ponove ščipi in mlaji skoraj v istih točkah luninega tira, se ponove v isti dobi tudi mrki v enaki vrsti. Ker je doba 223 sinodskih mesecev za 0.321 dni = $7^h 42^m$ daljša od 6585 dni, nastopajo mrki za določen kraj Zemlje po vsaki imenovani dobi $7^h 42^m$ kasneje.

25. Dodatne pripombe k svetovnim telesom. Solnce, planeti in njihove lune (sateliti, trabanti) tvorijo skupaj osolnčje.

Solnce ima maso, ki presega 800kratno maso vseh planetov skupaj. Kadar zremo skoz tako temno steklo, da more oko vzdržati pogled na Solnce, opazimo na Solncu takozvane pege, ki jih ne znamo še prav razjasniti. Pege izpreminjajo svojo obliko in se gibljejo po Solncu v smislu gibanja planetov; po tem gibanju sodijo, da se Solnce v približno 25 dneh zavrti okoli svoje osi. Polutnik Solnca je proti tiru Zemlje naklonjen za približno 7° . Vrtilna doba pa ni v vseh astronomijskih dolžinah enako velika, iz česar sklepajo, da je površje Solnca tekoče skupnosti. Ob solnčnih mrkih moremo dobro opaziti, da bruba Solnce ognjene snovi do višine $\frac{2}{3}$ svojega polumera; ti pojavi se imenujejo protuberance. Protuberance se pojavijo in zopet izginejo v kratkih presledkih; sklepajo, da ima masa površja Solnca razen velike toplotne energije tudi veliko kinetično energijo. Po jakosti izžarjevanja sklepajo, da je temperatura površja Solnca med 6000° in 7000° C.

Solnce je obenem središče takozvane zodijske svetlobe, ki jo je posebno dobro videti v tropskih krajih kmalu za solnčnim zahodom spomladi na zahodnem nebesu in kratko pred solnčnim vzhodom v jeseni na vzhodnem nebesu. Zodijska svetloba ima obliko navzgor obrnjenega trikotnika, ki je na vrhu zaokrožen in leži njegova višina približno v ekliptiki (v zodijski, odtod ime). Sklepali bi se dalo, da je Solnce obdano od svetečega ovoja, ki ima obliko močno sploščenega elipsoida in ki sega daleč ven čez tir Venere; vendar ta pojav ni še zadovoljivo razjasnjen.

Planeti. V razvidnicah na straneh 18. in 30. in v nastopni razvidnici so planeti razvrščeni po njihovih razdaljah od Soluca.

Planeta		Polutniški premer kot mnogo-kratnik premera Zemlje	Masa kot mnogokratnik mase Zemlje	Težnost na polutniku	Vrtilna doba		
ime	zna-menje				ur	min.	sek.
Merkur	☿	0.38	0.056	0.39		?	
Venus	♀	1.00	0.82	0.85		?	
Zemlja	♁	1	1	1	23	56	4
Mars	♂	0.53	0.171	0.38	24	37	23
Jupiter	♃	11.22	318.43	2.39	9	55	
Saturn	♄	9.25	95.2	1.06	10	14	
Uran	♅	3.94	14.31	0.93		?	
Neptun	♆	5.11	16.92	0.85		?	

Merkur gre v dobi 46 let šestkrat v notranji konjunkciji ravno pred Solncem in je približno dvakrat tolik kakor Luna; vrtilna doba še ni dognana.

Venus je skoraj tolika kakor Zemlja; njen premer je samo 350 km manjši od premera Zemlje; vrtilna doba je po mnenju nekaterih astronomov 23^h 30^m; drugi sodijo, da je njena vrtilna doba enaka obhodni dobi, kakor je to pri Luni. Venus je kot danica in večernica najsvetlejša zvezda na nebesu.

Zemlja je Solncu najbližji planet, ki ima svojo luno (Luno).

Mars je na tečajih vidno sploščen; zaznati je njegovo ozračje (atmosfera) v oblaki in bele pege na tečajih (obtečajni led); po naših sklepih je na Martu brezdvomno voda; dognana je tudi izprememba letnih časov na Martu. Mars in Zemlja imata jako slična fizikalna svojstva. Mars ima dve neznatno majhni luni.

Jupiter je največji planet in ima najkrajšo vrtilno dobo; zaradi tega je močno sploščen (razplošček je približno $\frac{1}{14}$). Jupitrovih trabantov poznamo danes 8; zaznamenujemo jih z rimskimi številkami od I do VIII v istem redu, kakor so jih odkrivali. Jupiter se nam pokaže na nebesu kot veličastno lepa zvezda.

Saturn je drugi največji planet; poznamo mu deset lun, ki jih zaznamenujemo enako kakor pri Jupitru z I do X. Saturn je posebno zanimiv po obročasti plošči, ki ga obdaja v ravnini polutnika. V prav dobrih daljnogledih (teleskopih) se pokaže ta plošča razdeljena v dva ločena obroča; zunanji obroč je najbrže zopet razklan v dva obroča; te obroče tvori veličanska množica jako majhnih teles, ki tekajo okoli Saturna (po Keplerjevem zakonu). Ravnina obroča obdrži med obhodom Saturna svojo lego v prostoru kakor ravnina polutnika, ki je proti ekliptiki naklonjena za 28.1°. Kadar je Saturn blizu vozlov ravnine svojega polutnika (v astronomijski dolžini 168°, oziroma 348°), vidimo naravnost v rob obročev; kadar je Saturn v sredi med navzgoranjim in navzdolnjim vozlom, zremo na severno ploskev obroča; kadar je v sredi med navzdolnjim in navzgoranjim vozlom, zremo na južno ploskev obroča. K nam obrnjena ploskev je obenem ona, ki jo

osvetlijo solnčni žarki. Le kadar je Saturn prav blizu vozlov, je mogoče, da stojita Solnce in Zemlja na nasprotnih straneh obroča; takrat zremo popolnoma poševno v nerazsvetljeno stran.

Uran se najbrže vrti okoli svoje osi, ki leži pravokotno na ravnini njegovega tira; razploščka in vrtilne dobe še niso mogli dognati; poznamo mu štiri lune, ki so jim tiri naklonjeni proti ekliptiki za 82° .

Neptun je od Solнца najbolj oddaljeni planet; znamenit je posebno zaradi tega, ker so astronomi prej izračunali, da mora tak planet biti, nego je kdo Neptuna videl na nebesu (odst. 20.).

Planetoidi. Med Martom in Jupitrom teka okoli Solнца veliko majhnih planetov; do leta 1891. so jih poznali približno 300. Leta 1891. je Wolf (v Heidelbergu) prvi uporabil fotografijo nebesa za odkrivanje planetoidov. Fotografska plošča je pritrjena na daljnogledu in se mora z daljnogledom v smislu navideznega vrtenja nebesne krogle tako gibati, da ostane na njej ves čas slika istega ozvezdja na istem mestu. Zvezde stalnice se na fotografski plošči upodobijo kot točke, planeti pa zaradi samosvojega gibanja kot kratke črtice. Fotografija je prinesla toliko uspehov, da poznamo danes že približno 700 planetoidov; njih tiri sežejo deloma v tir Marta in ven preko Jupitrovega tira. Solncu najbližji planetoid je Eros. Kadar pride Eros ravno v periheliju s Solncem v opozicijo, stoji Zemlji najbližje in je od nje oddaljen samo 22 milijonov km. To za opazovanje najugodnejšo lego je imel Eros leta 1894.; odkrili so ga pa šele leta 1898. in so ga potem naknadno našli upodobljenega na fotografskih ploščah iz leta 1894.

V dobi od leta 1906. naprej so odkrili štiri planetoida, ki imajo skoraj enako povprečno razdaljo od Solнца kakor Jupiter; dali so jim imena Ahiles, Patroklos, Hektor in 1908 CS. Znameniti so, ker tvorijo s Solncem in Jupitrom skoraj enakostraničen trikotnik.

Največji planetoid je Ceres (premer 779 km).

Vsi planetoidi skupaj bi izpolnili komaj $\frac{1}{20}$ prostornine Lune.

Lune (sateliti, trabanti). Trabant VIII Jupitra, trabant IX Saturna, vsi štirje trabanti Urana in trabant Neptuna se gibljejo v nasprotnem smislu (obratno) nego vsi drugi planeti in njih trabanti (ki se gibljejo napredno).

Luna nima svojega ozračja kakor Zemlja. Na površju Lune so zaznatne nižine in gorovja; po dolžini sence cenijo najvišje gore na 8800 m, ki so torej razmeroma višje nego najvišje gore na Zemlji. Znamenit je ustroj gorâ na Luni; vidijo se nam obročaste in ne spominjajo toliko na ognjenike z žreli, kakor na gnetno snov, ki jo je zadel projektil. Dobro so vidne tudi ravne, do 500 km dolge razpokline; vprašanje, kako bi bile nastale, ni rešeno.

Jupitrovi trabanti so v fiziki posebno znameniti, ker je Olaf Römer (1673) prvi z opazovanji na njih izračunal hitrost svetlobe; upoštevamo samo trabante I do IV kot največje. Tiri teh štirih trabantov leže skoraj v ravnini Jupitrovega polutnika, ki je proti ekliptiki le malo naklonjen ($1^{\circ} 18' 7''$); zaradi tega je pot trabanta našemu očesu prema črta, ki gre skozi središče vidne plošče Jupitra. Ko gre trabant našemu očesu pred Jupitrom, ne vidimo samo, kako se trabant premika, temveč tudi, kako se trabantova senca (zaradi solnčne svetlobe) premika pred vidno ploščo Jupitra

in izgine za njo na našem očesu nevidni poti. Videti pa moremo tudi, kako stopi trabant ob vsakem obhodu v Jupitrovo senco, ki jo napravi Solnce; trabant torej ob vsakem obhodu mrkne in moremo natančno opaziti nastop mrka. Ko je Jupiter s Solncem ravno v opoziciji, ne moremo mrkov opazovati, ker je senčni stožec naravnost za Jupiterom; pred opozicijo ali po opoziciji vidimo senčni stožec na zahodni, oziroma vzhodni strani Jupitrove plošče. Z opazovanjem določimo dobo med dvema zaporednima mrkoma istega trabanta, ko je Jupiter blizu opozicije, torej v najmanjši razdalji od Zemlje. Če računimo odslej z določeno dobo dalje, opažamo, da se nastop mrkov tem bolj zakesni, čim bolj se Jupiter od Zemlje oddalji. Obratno je, če določimo dobo med dvema zaporednima mrkoma, ko je Jupiter v konjunkciji, torej v največji razdalji od Zemlje, in računimo s to dobo dalje. Ta pojav je razjasnil Römer tako, kakor ga umevamo še danes, da namreč tudi svetloba potrebuje čas za razširjenje; svetloba ima določeno hitrost in čim daljša (krajša) je pot, ki jo mora svetloba preteči, tem kasneje (prej) nastopi v določenem kraju svetlobni pojav.

Planet	Trabant	Siderska obhodna doba	Povprečna razdalja od planeta	Ekscentriciteta	Naklon		Premer
		dni	polumer planeta = 1		0	'	km
Zemlja	Luna	27.322	60.27	0.055	5	8.8	3476
Mars . . .	Fobos	0.319	2.70	0.022	27	28.5	58
	Deimos	1.262	6.74	0.003	27	24.4	16
	V	0.498	2.55	0.005	2	20.4	50
Jupiter	I Jo	1.769	5.93	0.000	2	8.0	3145
	II Evropa	3.551	9.44	0.000	1	39.0	2817
	III Ganimed	7.155	15.06	0.001	1	59.9	4770
	IV Kalisto	16.689	26.49	0.007	1	57.0	4408
	VI	251	158	0.156	28	56	160
	VII	265	165	0.025	31	0	50
	VIII	790	352	0.33	41	8	50
	I Mimas	0.942	3.07	0.019	27	29.6	351
Saturn .	II Encelad	1.370	3.94	0.005	28	4.3	528
	III Tetis	1.888	4.87	0.000	28	40.5	866
	IV Dione	2.737	6.25	0.002	28	4.4	1032
	V Rea	4.518	8.73	0.001	28	22.8	1331
	VI Titan	15.945	20.22	0.029	27	39.7	5049
	X Temis	20.85	24.0	0.23	39	6	300
	VII Hiperion	21.277	24.49	0.129	27	14.9	315
	VIII Japet	79.331	58.91	0.028	18	28.3	1314
	IX Tebe	550.44	209.3	0.166	4	55	320
Uran . . .	Ariel	2.520	7.04	0.020	82	2	1030
	Umbriel	4.144	9.91	0.010	81	39	835
	Titania	8.706	16.11	0.001	81	58.5	1350
	Oberon	13.463	21.54	0.004	81	42.9	1295
Neptun .	luna	5.877	14.73	0.007	37	20	2962

Kometi (zvezde repatice) se po daljših dobah prikažejo na nebesnem obloku; gibljejo se v elipsah velike ekscentritete ali v parabolah, redko v hiperbolah; gorišče tem krivuljam je Solnce. Komete znači njih rep, ki je vedno obrnjen od Solнца stran. Ker kometi ne perturbirajo planetov, ki jim pridejo blizu, temveč vplivajo celo planeti nanje, sklepamo, da mora biti masa kometa prav majhna.

Nekateri kometi imajo samosvojo svetlobo.

Število kometov bi bilo po vseh poročilih, kolikor jih imamo iz starejših dob, do 1000. Število kometov, ki jim moremo upravičeno pripisovati eliptičen tir, je približno 120; največ teh kometov pa so doslej samo po enkrat mogli opazovati. Le 19 kometov je, ki so jih opazovali po dvakrat v periheliju in so jim torej mogli tir popolnoma zanesljivo določiti; imenujejo se periodski kometi (ker se v določenih dobah, periodah, vračajo k Solncu); 16 teh kometov ima razmeroma kratko obhodno dobo od 3 do 13 let, ostali trije pa imajo obhodno dobo nad 70 let.

Ime periodskega kometa	Obhodna doba let	Velika os	Razdalja od Solнца		Vozel °	Naklon ° proti ekliptiki
			v periheliju	v afeliju		
		premer zemeljskega tira = 1				
Encke	3·309	4·440	0·338	4·102	334·5	12·6
Tempel ₂	5·173	5·982	1·323	4·659	120·6	12·8
Brorsen	5·456	6·198	0·588	5·610	101·5	29·4
Tempel ₃	5·681	6·367	1·153	5·214	290·3	5·4
Winnecke	5·892	6·524	0·972	5·552	99·4	18·3
De Vico	6·400	6·895	1·670	5·225	24·8	3·6
Perrine	6·454	6·933	1·173	5·760	242·3	15·7
Tempel ₁	6·538	6·993	2·091	4·902	72·6	10·8
Finlay	6·540	6·994	0·965	6·029	52·4	3·1
D'Arrest	6·542	6·996	1·270	5·726	146·4	15·8
Biela	6·692	7·103	0·879	6·224	245·8	12·4
Wolf	6·804	7·181	1·588	5·593	206·6	25·3
Holmes	6·857	7·219	2·122	5·097	331·8	20·8
Brooks	7·106	7·392	1·963	5·429	18·2	6·1
Faye	7·390	7·588	1·650	5·938	206·5	10·6
Tuttle	13·667	11·432	1·019	10·413	269·8	54·5
Pons-Brooks . . .	71·56	34·474	0·776	33·698	254·1	74·0
Olbers	72·65	34·822	1·199	33·623	84·5	44·6
Halley	75·85	35·894	0·587	35·307	57·2	17·8

Od periodskih kometov dolge obhodne dobe je najznamenitejši Halleyev komet, ki se tudi edini giblje obratno; vseh drugih 18 se giblje napredno. Angleški astronom Halley je leta 1682. opazoval komet in dognal, da je njegov tir docela sličen s tiroma kometov l. 1531. in l. 1607. Sklepal je, da je opazovane pojave teh let pripisovati istemu kometu, ki se vrne k Solncu vsakih 75½ leta in ki ga bo torej zopet videti l. 1758. Kratko pred časom pričakovane vrnitve je naznanil Clairaut, da se utegne komet

hitrostjo, zažarijo zaradi sredstvenega upora in zgorejo že v višini kakih 80 km od Zemlje; le razmeroma malo jih pade na Zemljo. Verjetno je, da se komet po daljši dobi razbije v roj Kresnic. Zemeljski tir seče tire več rojev; zaradi tega se pojavljajo nekateri roji periodično v določenih časih. Bogati roji so okoli 10. avgusta in 12. novembra; ker je tem rojem izhodišče žarjenja v ozvezdju Perzeja, oziroma Leva (Leona), se imenujejo Perzeidi, oziroma Leonidi.

Zvezde stalnice. Zvezde delimo po jakosti svetjenja v 16 do 18 velikosti; zvezde prvih šest velikosti so vidne s prostim očesom, druge samo z daljnogledom (teleskopom) ali z upodobljenjem na fotografski plošči. Na zvezdnih kartah imajo zvezde različnih velikosti tudi različne znake; v sliki 1. so znaki zvezd velikosti 2. do 5., in sicer so v Velikem vozu zvezde α , ε in η 2. velikosti, β , γ in ζ 3. velikosti, δ 4. velikosti in srednje tri zvezde Malega voza so 5. velikosti; v skladu z znaki slike 1. bi bil zvezdi 1. velikosti znak „zvezdica“ z osmimi konicami.

Posamezne zvezde ozvezdij zaznamujemo z grškimi malimi črkami, nekatere imajo še samosvoja imena. N. pr.

Aldebaran (α Tauri)	Polaris (tečajnica, α Ursae min.)
Algol (β Persei)	Pollux (β Geminorum)
Alioth (ε Ursae maj.)	Regulus (α Leonis)
α , β itd. Andromedae	Sirius (α Canis maj.)
Bellatrix (γ Orionis)	Spica (α Virginis)
Capella (α Aurigae)	Vega (α Lyrae)
Castor (α Geminorum)	itd.
Mizar (ζ Ursae maj.)	

Že iz dejstva, da so stalnice skoz daljnogled videti le kot točke, planeti pa kot majhne okrogle ploščice, sklepamo, da so stalnice neznansko daleč od nas. Kot med premicama, ki gresta od krajišč premera zemeljskega tira k zvezdi, pove letno paralakso zvezde; vse letne paralakse stalnic so manjše od 1". Zvezda α Centauri ima letno paralakso 0.75", to se pravi: s te zvezde je videti premer tira Zemlje z zornim kotom 0.75". Račun pove, da vidimo daljico z zornim kotom 0.75", kadar smo od nje približno 138.000krat tako daleč kakor je daljica dolga; torej je α Centauri od nas oddaljena približno 138.000 premerov zemeljskega tira (po približno 300.000.000 km). Navadno povemo razdaljo stalnic od nas z drugimi besedami:

Svetloba potrebuje za pot od Solca do Zemlje približno 500 sekund, za pot premera zemeljskega tira 1000 sekund, za pot od α Centauri do Zemlje torej 138 milijonov sekund. Ker ima julijansko leto 31.56 milijonov sekund, potrebuje torej svetloba za pot od α Centauri do Zemlje 138:31.56 $\pm$ 4.4 leta; pravimo, da je α Centauri od Zemlje oddaljen 4.4 svetlobnega leta. Zvezda Capella (α Aurigae) ima letno paralakso 0.39", je oddaljena od Zemlje približno 265.000 premerov zemeljskega tira, to je približno 8.5 svetlobnega leta. Zvezda Vega je od nas oddaljena približno 20 svetlobnih let. Največ stalnicam paralakse sploh ne moremo določiti, tako majhna je paralaksa, tako daleč je stalnica od nas.

Sodimo, da so stalnice belo žareča, Solncu podobna svetovna telesa, ki pa imajo svoje planete in satelite tako daleč, da jih ne moremo zaznati. Pri več nego 1000 zvezdah so dognali, da so „dvostroke zvezde“, t. j. sestoječe iz dveh teles, ki se gibljeta okoli skupnega središča mas. Kadar je zrak prav čist, more prosto ostro oko videti tik ob zvezdi Mizar (č Velikega voza, slika 1.) še nekoliko manjšo zvezdo, imenovano Alkor („Jezdeček“); zvezda Mizar je ostremu prostemu očesu dvostroka zvezda. Že skozi navaden daljnogled je ločitev zvezd Mizar in Alkor dobro zaznatna; skozi prav dober daljnogled sta videti ti zvezdi tako daleč narazen, da ji ne moremo smatrati kot dvostroko zvezdo, vidimo pa glavno zvezdo Mizar kot pravo dvostroko zvezdo.

Rimska (Mlečna) cesta je pas na nebesu, kjer so zvezde prav gosto posute; pas ima menjajočo se širino in se blizu ozvezdja Labuda razcepi; kjer je pas svetlejši, je na zvezdah bogatejši. Na svetlem mestu pasa so v ploskvi, kolikršna je navidezna plošča Solнца, našteji do 5000 zvezd. „Meglene pege“ so najbrže hlapne snovi.

Imenik.

(Število poleg imena pomeni stran.)

Adams 37.	Kepler 33.
Benzenberg 22.	Kopernik 24.
Brahe, Tycho 33.	Krigar-Menzel 36.
Cardano 22.	Leverrier (izr. Löverje) 37.
Cavendisch (izr. Kevendiš) 35.	Maskelyne (izr. Meskelajn) 34.
Cezar Julij 14.	Newcomb (izr. Njukom) 39.
Clairaut (izr. Kleró) 50.	Newton (izr. Njutn) 34.
Cowell 51.	Pontecoulant 51.
Crommelin 51.	Ptolomej 28.
Foucault (izr. Fukó) 23.	Reich 22.
Franz 42.	Richarz 35.
Galle 37.	Römer Olaf 27, 48.
Gregor XIII. 14.	Rosenberger 51.
Halley 50.	Snellius 21.
Helmert 22.	Sosigenes 14.
Hutton (izr. Hatn) 34.	Tycho (glej Brahe).
Jolly (izr. Žoli) 35.	Wolf 48.

Stvarno kazalo

s slovensko-nemškim imenstvom.

(Število pomeni stran, kjer se dotični izraz prvič nabaja.)

- Afelij (odsolnčje)*, die Sonnenferne (das Aphel) 34.
- Apogej (odzemlje)*, das Apogaeum 40.
- Apsida*, die Apsidenlinie 34.
- Astronomija (zvezdoznanstvo)*, die Astronomie (Sternkunde) 4.
- Azimut*, das Azimut 7.
- Bibavica*, die Gezeiten 42.
- Cesta, Mlečna (Rimska)*, die Milchstraße 53.
- Čas, pasovni*, die Zonenzeit 21.
- *pristaniški*, die Hafenzeit 43.
- *srednjeevropski*, die mitteleuropäische Zeit 21.
- Daljina, jutranja*, die Morgenweite 6.
- *večerna*, die Abendweite 6.
- Dan, povprečni ali meščanski solnčni*, der mittlere oder bürgerliche Sonnentag 13.
- *pravi solnčni*, der wahre Sonnentag 12.
- *zvezdni*, der Sterntag 5.
- Danica*, der Morgenstern 18.
- Deklinacija*, die Deklination 8.
- Doba obkroženja*, die Umlaufszeit 5.
- *siderska obhodna*, die siderische Umlaufszeit 18.
- *sinodska obhodna*, die synodische Umlaufszeit 18.
- Dolžina, astronomijska*, die astronomische Länge 11.
- *zemljepisna*, die geographische Länge 20.
- Ekliptika*, die Ekliptik 10.
- Ekscentriciteta (astronomijska, linearna)*, die (astronomische, lineare) Exzentrität 33.
- Enačba, časovna*, die Zeitgleichung 13.
- Enačba, letna*, die Jahresgleichung 41.
- *paralaksna*, die Parallaxengl. 41.
- *središčna*, die Mittelpunktsgl. 40.
- Enakonočje, jesensko, pomladansko*, das Herbst-, Frühlings-Äquinoktium 9., 8.
- Faze lunine*, die Mondphasen 16.
- Gibanje napredno*, die rechtläufige (direkte) Bewegung 16.
- *navidezno*, die scheinbare B. 4.
- *obratno*, die rückläufige (retrograde) B. 17.
- *precesijsko*, die Praezessionsb. 38.
- *revolucijsko (valeče)*, die Revolutionsbewegung 28.
- Gravitacija*, die Gravitation 34.
- Jesenische*, der Herbstpunkt 10.
- Južische*, der Südpunkt 6.
- Koledar (gregorijanski, julijanski)*, der (gregorianische, julianische) Kalender 14.
- Kolur (enakonočja, obratka)*, der (Äquinoctial-, Solstitial-) Kolur 10.
- Konstanta, gravitacijska*, die Gravitationskonstante 35.
- Kot, urni*, der Stundenwinkel 12.
- Kozmografija*, die Kosmographie 4.
- Kres*, die Sommersonnenwende 9.
- Kresnice*, die Sternschnuppen 51.
- Krog, deklinacijski*, der Deklinationskreis 7.
- *poldnevniški, zemeljski*, der geographische Mittagskreis 20.
- *senčni*, der Schattenkreis 44.
- *širinski*, der Breitenkreis 11.
- *višinski (navpičnik)*, der Höhen- oder Vertikalkreis 7.

- Kulminacija* (zdoljnja, zgornja), die (untere, obere) Kulmination 6.
- Kulminirati*, kulminieren 6.
- Leto*, anomalsko, das anomale Jahr 40.
- *julijansko*, das julianische J. 14.
- *meščansko*, das bürgerliche J. 14
- *platonsko*, das platonische J. 38.
- *sidersko* (zvezdno), das siderische (Stern-) J. 13.
- *svetlobno*, das Lichtjahr 52.
- *tropsko* (ekvinokcialno), das tropische J. 13.
- Lok* (dnevni, nočni), der (Tag-, Nacht-) Bogen 6.
- Lunacija*, die Lunation 15.
- Meridian*, der Meridian (Mittagskreis) 6.
- Merjenje*, *stopinjno*, die Gradmessung 22.
- Mesec*, anomalski, der anomale Monat 40.
- *drakonitski* (zmajski), der drakonitische (Drachen-) M. 15.
- *siderski* (periodski), der siderische (periodische) M. 15.
- *sinodski*, der synodische M. 15.
- *tropski*, der tropische M. 15.
- Meteori*, die Meteore 51.
- Mrk* (delni, lunini, obročasti, popolni, solnčni), die (partielle, Mondes-, ringförmige, totale, Sonnen-) Finsternis 44., 45.
- Nadglavišče*, der Zenith 4.
- Nadir*, der Nadir 4.
- Navpičnik* (višinski krog), der Vertikalkreis (Höhenkreis) 7.
- Naziranje* (geocentrsko, heliocentrsko), die (geozentrische, heliozentrische) Anschauung 28.
- Nebes* (nebesni oblok), der Himmel, (das Himmelsgewölbe) 4.
- Nutacija*, die Nutation 39.
- Obkroženje*, der Umlauf 5.
- Oblika zemlje*, die Gestalt der Erde 19.
- Obrat*, solnčni (poletni, zimski), die (Sommer-, Winter-) Sonnenwende (das Sommer-, Wintersolstitium) 9.
- Obratnik*, južni ali kozorogovi, der südliche Wendekreis oder der Wendekreis des Steinbocks 9.
- *severni ali rakovi*, der nördliche W. oder der W. des Krebses 9.
- Obstojišče* (obratnišče), der Wendepunkt 10.
- Obzor*, navidezni, der scheinbare Horizont (Gesichtskreis) 4.
- *pravi*, der wahre H. 20.
- Obzornik*, die Gesichtskreislinie 4.
- Oktant*, der Oktant 41.
- Os svetovna*, die Himmels- oder Weltachse 5.
- Oseka*, die Ebbe 42.
- Osolnčje*, das Sonnensystem 46.
- Ozvezdje*, das Sternbild (die Sterngruppe) 4.
- Paralaksa* (dnevna, letna, obzorna), die (Tages-, Jahres-, Horizontal-) Parallaxe 25., 26.
- Pas*, zemeljski (podnebni), die Erdzone 21.
- Perigej* (prizemlje), das Perigäum 40.
- Perihelij* (prisolnčje), das Perihelium 34.
- Perturbacija*, die Perturbation 37.
- Petišče*, der Nadir 4.
- Planeti*, die Planeten 47.
- Planetoidi*, die Planetoiden 48.
- Plima* (nadirna, najnižja, najvišja, zenitna), die (Nadir-, niedrigste oder Nip-, höchste oder Spring-, Zenith-) Flut 42, 43.
- Plimovanje*, die Gezeiten 42.
- Podnožišče*, der Nadir (Fußpunkt) 4.
- Poldnevica*, die Mittagslinie 6.
- Poldnevnik*, der Mittagskreis (Meridian) 6.
- *začetni*, *zemeljski*, der Anfangs-, Erdmeridian 20.
- Polusenca* (siva senca), der Halbschatten 43.
- Polutnik*, *nebesni*, der Himmelsäquator 5.
- *zemeljski*, der Erdäquator 20.
- Pomladišče*, der Frühlingspunkt 8.

Poskus, Foucaultov, z nihalom, der Foucaultsche Pendelversuch 23.
Precesija, die Präzession 38.
Prehod Venere, der Venusdurchgang 18.
Protuberance, die Protuberanzen 46.
Ravnina, poldnevniška, die Meridianebene 6.
Razplošček zemlje, die Größe der Abplattung der Erde 22.
Rektascenzija, die Rektaszension 8.
Repatica (zvezda), der Komet 50.
Roji Kresnic, die Meteorschwärme 51.
Saros, 15.
Sateliti, die Satelliten 48.
Senca, jedrna ali popolna, siva ali polusenca, der Kern-, Halbschatten 43.
Severišče, der Nordpunkt 6.
Sizigij, das Syzygium 41.
Solnce, povprečno, die mittlere Sonne 13.
Solsticij, glej obrat solnčni.
Soredje, nebesno (ekliptiško, obzor- niško, polutniško), das (Ekliptik-, Horizont-, Äquator-) Himmelskoordinatensystem 7.
Sploščenost, die Abplattung 22.
Stožec, senčni, der Schattenkegel 44.
Svetloba zodiakalna, das Zodiakallicht 46.
Širina, astronomijska, die astronomische Breite 11.
 — *zemljepisna*, die geographische Breite 20.

Število, zlato, die goldene Zahl 15.
Tečaj, svetovni, der Himmelspol 5.
Tečajnica, der Polarstern 5.
Temenišče, der Zenith 4.
Tir, die Bahn 5.
Točka enakonočja, der Äquinoktialpunkt 10.
Trabant, der Trabant 48.
Utrinki, die Sternschnuppen 51.
Večernica, der Abendstern 18.
Velikost Zemlje, die Größe der Erde 21.
Vozel, navzdoljnji (navzgornji), der absteigende (aufsteigende) Knoten 15.
Vozlovka, die Knotenlinie 15.
Vzhajališče, der Ostpunkt 6.
Vzhodišče, der Aufgangspunkt 5.
Vzporednik, der Parallelkreis 5.
Zahajališče (zapadišče), der Westpunkt 6.
Zahodišče (zatonišče), der Untergangspunkt 5.
Zodijak, der Tierkreis (Zodiakus) 10.
Zvezda, dvostroka (dvojna), der Doppelstern 53.
 — *nadobzornica*, der nördliche Zirkumpolarstern 5.
 — *podobzornica*, der südliche Zirkumpolarstern 5.
 — *stalnica*, der Fixstern 4.
 — *vzhajalka in zahajalka*, der auf- und untergehende Stern 5.



