

6. MAA TIIRLEMINE JA PÖÖRLEMINE, KALENDER, KLIIMAVÖÖNDID

6.1. Astronoomilised ajähikud, kalender

Maa on üks kaheksast päikesesüsteemi planeedist. Kõik planeedid, **tiirlevad** ümber Päikese ühes suunas. Kõik, välja arvatud Veenus, **pöörlevad** ühes suunas ümber oma telje. **Veenus** pöörleb väga aeglaselt vastupidises suunas, pöörlemisperiood **243 Maa ööpäeva**. Erandlik on ka Uraani pöörlemine, Uraan on “külili” (pöörlemistasand 97° – 98°), teda peeti varem vastupidi pöörlevaks.

Tabel 1. Planeedid

Jrk nr	Planeet	Kaugus Päikesest	Planetaarne päev	Planetaarne aasta (Maa päevades või Maa aastates)	Diameeter (Maa = 1)	Mass (Maa = 1)
1	Merkuur	0.39 AU	58.7×24 h	88.0 päeva	0.382	0.055
2	Veenus	0.72 AU	243×24 h	224.7 päeva	0.949	0.815
3	Maa	1.00 Au	1.00×24 h	365.26 päeva	1.00	1.00
4	Marss	1.52 AU	1.026× 24 h	687.0 päeva	0.532	0.107
5	Jupiter	5.20 AU	9.84 h	11.9 aastat	11.2	317.8
6	Saturn	9.54 AU	10.6 h	29.5 aastat	9.3	95.3
7	Uraan	19.18 AU	17.9 h	84.1 aastat	4.0	14.6
8	Neptuun	30.06 AU	19.1 h	164.8 aastat	3.9	17.2
-	Pluuto	39.5 AU	6.4× 24 h	249 aastat	0.18	0.002

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solar/soldata2.html#c5>

Veel üsna hiljuti peeti planeediks ka Pluutot.

Ajähikud *aasta, tund, minut, sekund* jne defineeriti algselt Maa tiirlemise ja pöörlemise perioodidest lähtuvalt.

Keskmine päikeseööpäev. Praktilises elus loetakse ööpäeva alguseks keskööd. *Keskmiseks päikeseööpäevaks* loetakse keskmist ajavahemikku **Päikese kahe alumise kulminatsiooni vahel** (Päikese näival liikumisel taevsfääril). Päikeseööpäev on võrdsustatud **24 tunniga**.

Tund. **1/24 osa** keskmisest päikeseööpäevast.

Täheaasta. Ajavahemik, mille jooksul **Maa teeb ühe täistiiru ümber Päikese**. Tegelikult määratakse seda ajavahemikuga, mille jooksul Päike sooritab taevsfääril näiva ringi ja jõuab tagasi sama tähe juurde. Vaatlused näitavad, et täheaasta võrdub **365.25636** päikeseööpäevaga.

Vana-Egiptuse päikesekalender. Esimene teadaolev kalender koostati **Egiptuses 7000 aasta eest** ja tugines kolmele, perioodiliselt (perioodiga ca 1 aasta) toimuvale sündmusele:

- Päikese suvisele suurimale kõrgusele (“Päike kaevus”, Syene-Assuani laiustel, [millise tähtsa geofüüsikalise arvutusega on Syene seotud?](#) Vihje: Eratosthenes, ca 276–195 BC);

- heledaima tähe Siiriuse ilmumisele pärast tema nähtamatuse perioodi (Orjatăht eesti rahvaastronoomias, J. Hurda väide; [millest selline nimi, “Orjatăht”?](#));
- Niiluse üleujutuse algusele, mis järgnes Siiriuse ilmumisele ([kas praegu jälgitakse Niiluse üleujutusi?](#)).

Siiriuse ilmumist märgates “ennustasidki” preestrid üleujutuse saabumist nagu jumala ilmutust, mis võimaldas varuda viljakat muda ja vett. Aja jooksul õppisid preestrid Niiluse üleujutuse päevi ka nädalate kaupa ette arvutama. Peamiseks ajaühikuks oli ajavahemiks Niiluse kahe üleujutuse vahel, ühest suvisest pööripäevast teiseni, ehk **365 päikeseööpäeva**.

Seega määrasid Vana-Egiptuse preestrid aasta pikkuse üllatavalt täpselt, kuid selles polnud mingit müstikat.

Juliuse kalender. Roomlaste kalender oli algselt segasem, aasta sisaldas vaid **304 päeva**. Seejärel kasvas roomlaste aasta 355, siis 377 ja 378 päevani. Aastal **46 BC** teostas Rooma valitseja **Julius Caesar (100 või 102–44 BC)** kalendrireformi (nn **juuliuse kalender** ehk **vana kalender**). Oma Aleksandrias töötava astronoomi **Sosigenese**, kes kahtlemata oli tuttav egiptlaste kalendriga, ettepanekul kehtestas Julius Caesar aasta keskmiseks pikkuseks **365.25 ööpäeva**. Et aga iga konkreetne aasta sisaldaks täisarv ööpäevi, loeti kolme järjestikuse aasta pikkuseks kokkuleppeliselt **365 ööpäeva** ja igal neljandal aastal **366 ööpäeva**. Kalendrikuud koosnesid vastavalt **29–31 päevast**. Iga neljanda aasta lisapäev paigutati **veebruariusse, 30. päevaks**.

Pärast Caesari surma (**44 BC**) loeti **lisapäeva-aastaks ekslikult iga kolmas aasta**, mistõttu kalendrisse tekkis viga, **keskmine aasta kujunes liiga pikaks**, kalender muutus aeglaseks, ‘jõi ajast maha’. Vea kõrvaldas aastal **8 BC** Rooma valitseja **Augustus**, kes vähendas ajutiselt liigaastate sagedust (**Gaius Octavianus Augustus, 63 BC – 14 AD**).

Caesari ja Augustuse auks nimetati **7. ja 8. kuu** vastavalt **juuliks** ja **augustiks**. Et augustikuu oleks päevade arvult juuliga võrdväärne, lisati ka sinna **üks päev**, jällegi **veebruari arvelt**.

Troopiline aasta. Planeet Maa telg ei ole fikseeritud, vaid pretsesseerib, analoogselt güroskoobiga (vurriga). Pretsessioon põhjustab taevASFääri pooluse (ligikaudu Põhjvanaela asukoht) “loperdamise”, seega võngub ka taevaekvaatori asukoht, järelikult muutuvad ekliptika ja taevaekvaatori lõikepunktid. Pretsessiooni tõttu läbib Päike oma näival liikumisel ekliptika põhipunkte (kevad-, suve-, sügis- ja talvepunkt) veidi varem sama täheni jõudmist (“veidi varem” on püsiv, sest pretsessioon toimub kogu aeg ühes suunas). Aastaaegade vaheldumist silmas pidades on sobivam arvestada pretsessiooni ja kasutada täheaasta (**365.25636**) asemel pisut lühemat, nn **troopilist aastat**, mille pikkus on **365.24220** keskmist päikeseööpäeva.

Demo: güroskoopiline efekt, pretsesseerimine.

Pretsessioonist tingitud võimalikke kliimamuutusi käsitleme allpool.

Juliuse aasta ebatäpsus. Et juuliuse aasta on astronoomilisest aastast (nn troopilisest aastast) pikem, algab iga uus kalendriaasta hilinemisega. Juuliuse aasta ebatäpsust väljendab vahe

$$365.2500 - 365.24220 = 0.0078 \text{ (ööpäeva)} \approx 11 \text{ min } 14 \text{ s,}$$

mis **400 aasta** jooksul põhjustab mahajäämuse ligi **3 ööpäeva**, **1000 aasta** jooksul ulatub hilinemine **7.8 ööpäevani**.

Gregoriuse kalender. Kalendri hilinemise korrastamise kavandas Rooma paavsti Gregorius XIII astronoom **Clavius**, kelle ettepanekul lühendati **1582. aastat 10 päeva võrra**: 4. oktoobrile järgnev päev loeti mitte **5ndaks vaid 15ndaks oktoobriks**.

Edaspidi jäädi ikkagi eelmise, juulise kalendri juurde, kuid liigaastaid vähendati: **400 aasta** vältel tekkiva **3-ööpäevase** vea kõrvaldamiseks võeti liht- ja liigaastate reeglisse täiendus, mille järgi loetakse **400-aastase perioodi** jooksul **kolm vana (juulise) kalendri liigaastat uue (gregooriuse) kalendri lihtaastateks**. Täiendav reegel on järgmine: **kahe nulliga lõppevad aastad loetakse liigaastaks ainult siis kui eelnev sadade arv jagub neljaga:**

1600 – liigaasta

1700 – lihtaasta

1800 – lihtaasta

1900 – lihtaasta

2000 – liigaasta

2100 – lihtaasta

2200 – lihtaasta, jne

Gregoriuse kalender, eelmise ehk **Juliuse kalendri**

struktuur jätkub,

kuid liigaastaid on edaspidi vähem, aastad 1700, 1800, 1900, 2100, 2200, 2300 jne loetakse lihtaastateks; aastad **1600, 2000, 2400** jäävad liigaastateks.

Gregoriuse ehk uus kalender võeti kohe tarvitusele enamikus Lääne-Euroopa (katoliiklikes) maades. Kuid suuresti protestantlik **Inglismaa** hilines ligi **200 aastat** ja hakkas seda kasutama **1752. aastal**. Pärast seda tarvitati vana kalendrit ainult **Venemaal, Kreekas jt Balkani riikides** (arvatavaks põhjuseks õigeusu domineerimine ja katoliku kiriku vähene mõju nimetatud riikides).

Rahvusvahelise suhtlemise, eriti **posti ja telegraafi** arenedes tuli ka Venemaal uut kalendrit kasutama hakata, kuid seda tehti teisejärgulise paralleelsüsteemina. Oktoobrirevolutsiooni järgselt lahendati aga kalendriküsimus kiiresti: **1918. aasta 1. veebruari** asemel tuli kuupäevaks lugeda **14. veebruar**.

Gregoriuse aasta ebatäpsus. Gregoriuse aasta on troopilisest aastast pikem ainult **26 sekundit**. Ööpäevane viga tekib alles **ca 3300 aasta** jooksul.

Täheööpäev, Maa pöörlemise nurkkiirus. Nagu öeldud, on aasta pikkuseks ligikaudu **365.25** päikeseööpäeva. Kuid kujutades ette Maa liikumist ümber Päikese eemalt, tähtedelt (või tähtededa seotud koordinaatsüsteemist vaadatuna), selgub, et Maa teeb ümber oma telje täpselt ühe täispöörde rohkem. Selliseid täispöördeid, ehk *täheööpäevi*, mahub aastasse:

$$365.25 + 1 = 366.25 \text{ (täheööpäeva).}$$

Kuna täheööpäevi on aastast rohkem, siis on **täheööpäev** pisut, **365.25/366.25 korda**, lühem **päikeseööpäevast** ehk **24 tunnist**. Arvutame täheööpäeva pikkuse:

$$24\text{h} \frac{365.25}{366.25} = \frac{24 \cdot 60 \cdot 60\text{s} \cdot 365.25}{366.25} = \frac{86400\text{s} \cdot 365.25}{366.25} = \underline{\underline{86164.096\text{ s}}},$$

teisendame tulemuse tundideks ja minutiteks

$$86164.096\text{ s} = \frac{86164.096\text{ h}}{3600} = 23.93447\text{ h} = \underline{\underline{23\text{h } 56\text{ min } 04\text{s}}}.$$

Kuigi erinevus täheööpäeva ja päikeseööpäeva vahel ei ole suur, ja ligikaudsetes arvutustes võib ööpäeva pikkuseks võtta **24 h**, tuleb korrektsetes arvutustes, näiteks GPS rakenduste, Coriolise kiirenduse ja geostatsionaarsete orbiitide arvutamisel lähtuda ikkagi täheööpäevast.

Maa pöörlemise täpsem nurkkiirus lähtub täheööpäevast:

$$\text{täheööpäeva järgi (korrektne): } \omega = \frac{2\pi}{86\,164.096\text{s}} = 0.0000729\text{s}^{-1} = 7.29 \cdot 10^{-5}\text{s}^{-1},$$

päikeseööpäeva järgi (**mittekorrektne**, pisut vähendatud ehk aeglasem väärtus):

$$\omega = \frac{2\pi}{86400\text{s}} = 0.0000727\text{s}^{-1} = 7.27 \cdot 10^{-5}\text{s}^{-1},$$

nurkkiiruste erinevus on kolmandas numbrikohas (**0.27%**).

6.2. Aastajad ja kliimavööndid

Maa orbiidi parameetrid ja tema pöörlemine ümber oma telje on kõige olulisemad tegurid, mis mõjutavad päiksekiirguse jõudmist Maale ja Maa kliimat.

Maa telg, mis läbib Maa pooluseid (Maa pöörlemistelg) on orbiidi tasapinna (tiirlemistasapinna ehk ekliptika) suhtes kaldu.

Väide 1 (Neil C. Wells, *The atmosphere and ocean*, 2012, 7). Kaldenurk muutub **22.1°** ja **24.5°** vahel. Muutumisperiood on **41 000 aastat**, nn **nutatsioon** (*meditsiiniline* termin – tahtmatu peanoogutus). Praegune kaldenurga ligikaudne väärtus,

$$\varepsilon \approx 23.44^\circ = 23^\circ 26' 24'',$$

Järgneva 8000 aasta jooksul toimub **kaldenurga kahanemine**, mis tähendab pisut **väiksemaid erinevusi suve ja talve vahel**, eriti polaarpiirkondades. Ligikaudne (lineariseeritud) kaldenurga muutumise arvutusalem lähisajanditeks

$$\varepsilon = 23^\circ 27' 8.26'' - 0.4684''t,$$

kus t on aastate arv alates aastast **1900**. Valem annab aastaks **2000** ekliptika kalde

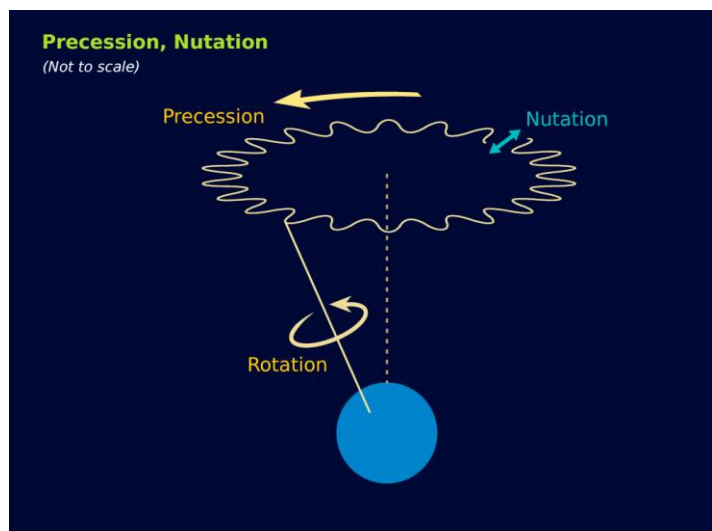
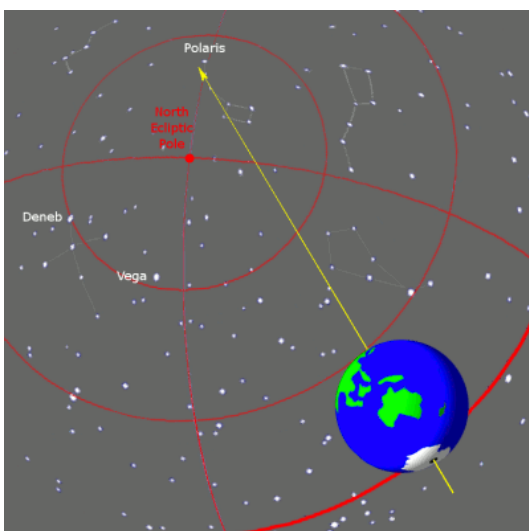
$$\varepsilon = 23^\circ 26' 21'' = 23.439^\circ \approx 23.44^\circ$$

Enamik teatmikke (ja maakaarte) on koostatud 20. sajandil, enne 2000. aastat, seetõttu antakse neis ekliptika kaldeks

$$\varepsilon = 23^\circ 27' = 23.45^\circ.$$

Väide 2. Maa telg pretsesseerib, perioodiga **25 700** aastat. Selle ajaga “joonistab” Maa telg tähistaevasse ringjoone, mille läbimõõt on peaaegu **47°**.

Kui praegu on maailma põhjapooluse lähedal Põhjanaan (Polaris), siis **8 000** aasta pärast, pretsessiooni tõttu Deeneb (*Deneb*), ja **12 000** aasta pärast Veega (*Vega*).



Joonis 1. Maa telje liikumine taeva pooluse suhtes, pretsessioon **25 700**, nutatsioon **41 000 a.**

The **26 000**-year cycle of precession as seen from near the Earth. The current north [pole star](#) is [Polaris](#) (top). In about **8 000** years it will be the bright star [Deneb](#) (left), and in about **12 000** years, [Vega](#) (left center). The Earth's rotation is not depicted to scale – in this span of time, it should rotate over 9 million times. http://en.wikipedia.org/wiki/Axial_precession
http://christophercrockett.com/wp-content/uploads/2012/05/precession_nutation.png

Ekliptika kaldenurk põhjustab aastaegade vaheldumise. Kummagi poolkera **suvel on päevad pikemad** ja Päike kulmineerub kõrgemal horisoni kohal kui talvel.

Suvisel pööripäeval, **21. juunil**, on Päike põhjapoolkeral seniidis keskpäeval laiuskraadi **23°27' pl** juures (Tab. 2). See laiuskraad kannab nime *Vähi pöörijoon*. Kõigis punktides, mis on lähemal ekvaatorile kui **23°27' pl**, on Päike seniidis **2 korda aastas**. Näiteks laiusel **20° pl** toimub see **21. mail** ja **23. juulil**.

Ekvaatoril enesel on Päike keskpäeval seniidis kevadisel ja sügisel pööripäeval, see on **21. märtsi** ja **23. septembri** paiku.

Kevadisel ja sügisel pööripäeval leiab aset ka **globaalne võrdpäevsus**: öö ja päeva pikkused on kogu planeedil ühesugused – **12 tundi**.

Kevadisest pööripäevast suviseni nihkuvad geograafilised punktid, kus Päike on keskpäeval seniidis, põhja ilmakaare poole, **Vähi pöörijoone suunas**. Ekvaatoril samal ajal Päikese keskpäevane kulminatsioonikõrgus väheneb, jõudes väikseima väärtuseni suvisel pööripäeval:

$$90^\circ - 23^\circ 27' = 66^\circ 33'$$

Suvisel pööripäeval põhjapolaarjoonel ja sellest põhja poole Päike üldse ei looju. Polaarjoone laiuskraad on määratav sama valemiga nagu Päikese minimaalne keskpäevane kõrgus ekvaatoril

$$90^\circ - 23^\circ 27' = 66^\circ 33'$$

Suvisel pööripäeval on Päikese kõrgus põhjapoolusel maksimaalne, **23°27'**, mis aga on oluliselt vähem kui sama päeva Päikese keskpäevane kõrgus ekvaatoril, **66°33'**.

Päikese deklinatsioon – päikesekiirte nurk Maa ekvaatori tasandi suhtes; animatsioon (geotsentriline): <http://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/sunrays.html>

Tabel 2. Päikese kulmineerimiskõrgused pööripäevadel

Laiuskraad φ	Pööripäevad			
	Talvine 21.–22. detš $\delta = -23^\circ 27'$	Kevadine 20.–21. märts $\delta = 0^\circ$	Suvine 21.–22. juuni $\delta = 23^\circ 27'$	Sügisene 22.–23. sept $\delta = 0^\circ$
Põhjapoolus $\varphi = 90^\circ$	$-23^\circ 27'$	0°	$23^\circ 27'$	0°
Põhjapolaarjoon $\varphi = 66^\circ 33'$	0°	$23^\circ 27'$	$46^\circ 54'$	$23^\circ 27'$
Sankt-Peterburg $\varphi = 60^\circ$	$6^\circ 33'$	30°	$53^\circ 27'$	30°
Keskmine põhjalaius $\varphi = 45^\circ$	$21^\circ 33'$	45°	$68^\circ 27'$	45°
Vähi pöörijoon $\varphi = 23^\circ 27'$	$43^\circ 06'$	$66^\circ 33'$	90°	$66^\circ 33'$

Ekvaator $\varphi = 0^\circ$	66°33'	90°	66°33'	90°
Kaljukitse pööriljoon $\varphi = -23^\circ27'$	90°	66°33'	43°06'	66°33'
Keskmine lõunalaius $\varphi = -45^\circ$	68°27'	45°	21°33'	45°
Antarktika ringhoovus $\varphi = -60^\circ$	53°27'	30°	6°33'	30°
Lõunapolaarjoon $\varphi = -66^\circ33'$	46°54'	23°27'	0°	23°27'
Lõunapoolus $\varphi = -90^\circ$	23°27'	0°	-23°27'	0°

Samasugused nähtused toimuvad ka Maa lõunapoolkeral, ainult selle vahega, et meie suvel on seal talv, meie kevadel sügis jne. Lõunapoolkera laiuskraadi **23°27' II** nimetatakse *Kaljukitse pööriljooneks*. Pööriljoonte nimetused pärinevad tähtkujudest, kus Päike asus suvisel ja talvisel pöörilpäeval antiikajal. Talvisel pöörilpäeval (**22. detsembri** paiku) on Päike keskpäeval seniidis Kaljukitse pööriljoonel, lõunapoolusel saavutab kõrguse **23°27'**.

Maa vööndit paralleelide + **23°27'** ja - **23°27'** vahel nimetatakse *troopiliseks vööndiks* ehk *palavvööndiks*. Laiuskraadidest $\pm 66^\circ33'$ pooluste poole asuvaid alasid nimetatakse *polaar-* ehk *külmvöönditeks* (**Arktis ja Antarktis**). Troopiliste ja polaaralade vahele jäävad *parasvööndid*. Seega on maakera jaotatud viieks **temperatuurivööndiks**.

Poolustel tõuseb Päike vastavalt kevadisel või sügisel pöörilpäeval terveks poolaastaks (*polaarpäev*) ja loojub samuti terveks poolaastaks (polaaröö). Refraktsiooni tõttu on polaarpäev mõne ööpäeva võrra pikem polaarööst.

Sedamööda, kuidas vaatleja eemaldub Maa poolustest, lüheneb polaarpäeva ja polaaröö kestus ning suureneb päeva ja öö vaheldusega ööpäevade arv. Laiuskraadid $\pm 66^\circ33'$ on äärmiseks piiriks, kus Päike võib jääda terveks ööpäevaks horisondi kohale (vastavalt suvisel ja talvisel pöörilpäeval).

6.3. Põhja- ja lõunapoolkera erinev kiirgusrežiim

Maa orbiit on ellipsikujuline (joonis 2). Ellipsi väljavenitatust iseloomustav parameeter, ekstsentrilisus, e :

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

kus a ja b on poolteljed. Maa orbiidi ekstsentrilisus muutub piirides **0.005-0.058**, keskmine **0.028**, praegune väärtus on **0.017**. Ekstsentrilisus võimaldab arvutada ellipsi fookuse (Päikese) kõige lähema ja kõige kaugema punkti kaugusi ellipsist:

$$\text{apogee} = (1 + e) d_0 = 1.017 d_0,$$

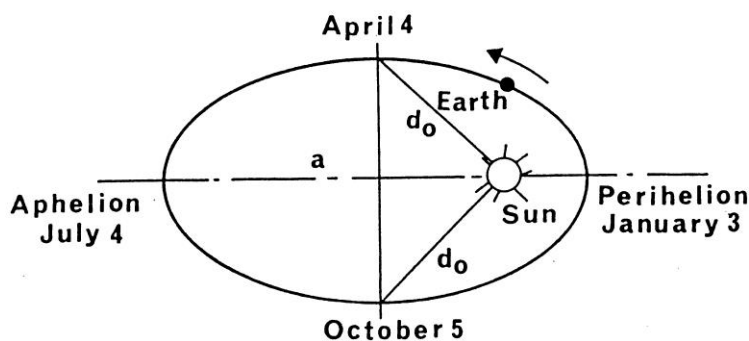
$$\text{perigee} = (1 - e) d_0 = 0.983 d_0.$$

Kui ei oleks teisi planeete, siis Maa orbiidi ekstsentrilisus oleks praktiliselt muutumatu või puuduks. Jupiteri ja Saturni gravitatsioon põhjustavad muutumise, mille peakomponendi periood on **413 000 aastat**, teised komponendid **95 000–125 000 aastat**.

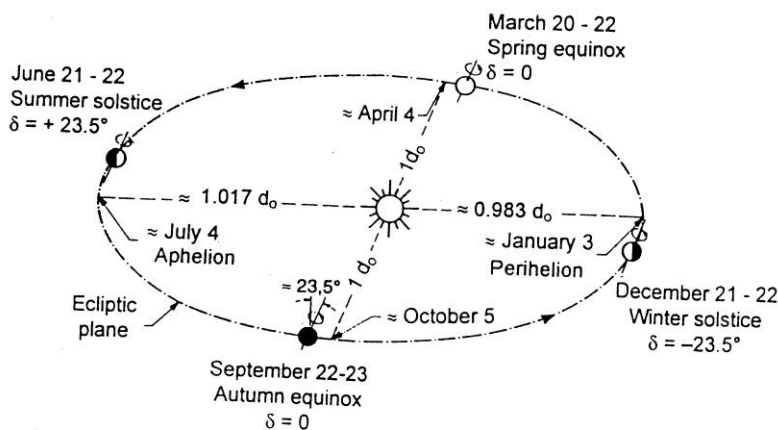
Maa orbiidi elliptilisusest ja ekliptika kaldest järeldub huvitav asjaolu, et põhjapoolkera suvi pole identne lõunapoolkera suvega, ega talv talvega.

Kui praegu on Maa-Päike kaugus kõige väiksem **jaanuaris**, siis **11 000** aasta pärast on see **juulis** ja Maa-Päike suurim kaugus **jaanuaris**.

Kogu võrdpäevsuse ja pööripäevade nihkumise tsükli pikkus on **22 000 aastat** (Oceanus, 29, 4, 1986/87, 46).



The earth's elliptic orbit around the sun; for clarity, the eccentricity of the ellipse has been strongly exaggerated.



Joonis 2. Maa orbiidi parameetrid (Lenoble'i ja Iqbali järgi).

Lõunapoolkera suvel, täpsemalt **3. jaanuaril**, on Maa-Päike kaugus minimaalne, võrdues **0.983** astronoomilise ühikuga ($1 \text{ AU} = d_0 = \text{Maa-Päike keskmine kaugus} = 149.5 \cdot 10^6 \text{ km}$). Põhjapoolkera suvel, täpsemalt **4. juulil**, on Maa-Päike kaugus maksimaalne, võrdues **1.017** astronoomilise ühikuga.

Maa-Päike kauguse muutumise tõttu langeb lõunapoolkera suvel atmosfääri ülapiirile kuni **7%** intensiivsem päiksekiirgus (kiiritustihedus) kui põhjapoolkera suvel:

$$\left(\frac{1.017 \text{ AU}}{0.983 \text{ AU}}\right)^2 = 1.034^2 = 1.07.$$

Kuid lõunapoolkera kuumem suvi on lühem, lõunapoolkera suve pikkus on **179.6 ööpäeva**, põhjapoolkera jahedama suve pikkus aga **185.6 ööpäeva**. Selle, **6-päevase** erinevuse tõttu saavad mõlema poolkera samal laiuskraadil olevad piirkonnad kiirgusenergiat suve jooksul siiski kumbki ühepalju.

6.4. Milankovitši paleoklimatoloogia

Milutin Milanković (1879 – 1958) – Serbia matemaatik, astronoom ja geofüüsik
paleo – (kr k *palaios*) vana, muistne, iidne

Milankovitš publitseeris aastatel 1912–1941 oma teooriat, mille kohaselt paleokliimaatilisi muutusi seletatakse Maa orbiidiparameetrite (ellipsi ekstsentilisus, orbiidi kalle jne) variatsioonidega.

Üksikute orbiidiparameetrite muutumise perioodid: 21 000, 26 000, 41 000, 100 000, 400 000 aastat. Perioodiga 100 000 aastat kliimamuutusi on avastatud Gröönimaa ja Antarktika jää ning ookeani sadestuste puurimisel.

Praegu peaksime asuma **Maa-Päike kauguse** kasvamise ja **Maale langeva kosmilise tolmu** (suurendab Maa albeedit ehk peegeldusvõimet) perioodis, mis kokkuvõttes peaks kallutama kliimat jahenemisele.

Eestis on Milankovitši veendunud toetaja – geoloog, akademik Anto Raukas.

Muutused planeedil Maa enesel (näiteks **CO₂** ja **NO₂** hulga suurenemine) raskendavad Milankovitši teooriast tulenevate järelduste kontrollimist.

Näide Milankovitši teooria järeldustest:

Currently the Earth is tilted at **23.44** degrees from its orbital plane, roughly halfway between its extreme values. The tilt now is in **the decreasing phase of its cycle**, and will reach its minimum value (**22.1^o**) around the year **11 800 CE**; the last maximum was reached **in 8 700 BCE**. This trend in forcing, by itself, tends to make winters warmer and summers colder (i.e. milder seasons), as well as cause an overall cooling trend [???].

CE – Common Era; **AD** – Anno Domini;

BCE – Before Common Era; **BC** – Before Christ; http://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

6.5. Merevee tase

Viimase jääaja kulminatsioonis, **20 000 aasta eest**, oli merevee tase **120 meetrit** madalamal kui praegu.

Kui polaarpiirkondade mandrijää sulaks, tõuseks merevee praegune tase **70 meetrit**.

6.6. Greenwichi aeg

Tööstusrevolutsiooni järgselt toimunud tehnoloogia areng vajas järjest täpsemat õige aja teenistust. Algselt tuginesid need astronoomilistele vaatlustele. Kogu planeeti haarava ajasüsteemi ja ühtse geograafilise võrgustiku loomine aga takerdus nullmeridiaanide paljususe taha. Segadused lõpetas **1884. aastal** Washingtonis toimunud **Rahvusvaheline Meridiaanikonverents** (26+1 riiki, Prantsusmaa hääletas vastu), kus otsustati hakata kasutama Green-

wichi nullmeridiaani ja vastavalt Greenwichi aega. Varasemalt oli enim levinud Hierro (Ferro) meridiaan, mis sobivalt eraldas Vana ja Uue Maailma. **Küsimus:** millist punkti läbis Hierro meridiaan?

Seega, Greenwichi meridiaani kohalikku keskmist päikeseaega, mida korrigeeriti astronoomiliste vaatlustega, hakati nimetama Greenwichi ajaks (**GMT – Greenwich Mean Time**). GMT puhul on ööpäeva pikkuseks $24 \times 60 \times 60 \text{ s} = 86\,400 \text{ s}$ (aluseks võetud päikeseööpäev aastal 1820).

Alates aastast 1925 hakati Greenwichi aega nimetama ka *maailmaajaks* (**UT = UT1, Universal Time**). Paralleelselt kasutati ja kasutatakse kõnekeeles jätkuvalt mõistet 'Greenwichi aeg', kuigi formaalselt on see ühe ajavööndi aeg. On olnud kasutuses ka **UT0, UT1R, UT2**, mis erinevad millisekundi suurusjärgus **UT**-st.

Kuid – astronoomiliste vaatlustega ei ole põhimõtteliselt võimalik tagada ühtlaselt kulgevat aega, sest: 1) 'astronoomiline kell' ei käi ühtlaselt, 2) astronoomiliste sündmuste registreerimine ei ole ei piisavalt täpne ega etteplaneeritav, näiteks teleskoobi kasutamist võib segada pilvisus.

6.7. Koordineeritud maailmaaeg

Paljudeks, eriti mitmesuguse satelliiditehnika rakendusteks oli vaja ühtlasema käiguga kella kui "astronoomiline kell". Sellisteks kelladeks said aatomkellad.

- **TAI – International Atomic Time**, tagatud aatomkellade võrgustikuga, aatomkellad seati kokku langema (sünkroniseeriti) **UT1**-ga (**GMT**-ga) selliselt et

UT1 – TAI ≈ 0 , 01-Jan-1958 (märki \approx tuleks võtta: "parimal võimalikul viisil").

Aatomkella käik on väga ühtlane, kuid aatomkellad käivad praegu ette võrreldes "astronoomilise kellaga". Säilitamiseks ajaarvestuse seost astronoomiliste nähtustega (Maa pöörlemine ja tiirlemine, nendest lähtuv aastaegade algus), defineeriti uus väga tähtis ajasüsteem, **UTC**, milles aeg igapäevaselt kulgeb aatomkellade järgi, kuid aatomkellade aega vahetevahel siiski **hüppeliselt korrigeeritakse** sekundi võrra, et säiliks sünkroonsus "astronoomilise kellaga".

- **UTC (Universal Time Coordinated)** on tagatud aatomkelladega, korrigeeritakse, siiani liigsekundi (**leap second**) lisamisega poolaasta lõpus, et säiliks

$$| \text{UT1} - \text{UTC} | < 0.9 \text{ s.}$$

Esimene korrektsioon tehti **30-Jun-1972** lisasekundi lisamisega.

Selle konspektiosa redigeerimise ajal (26. dets 2020) oli teada, et **48 aasta jooksul, 1972–2020** toimus **27 korrektsiooni**, milles kõigi puhul lisati 1 sekund (aatomkelli "peeti sekundiks kinni", poolaasta viimane minut kestis **61 sekundit**). Nimetatud ühesuunalised korrektsioonid nagu viitaks "astronoomilise kella" jätkuvalle aeglasemale käigule, keskmiselt **ca 600 päeva** kohta **1 sekund**. Samas on Maa pöörlemiskiirus vähenenud aastast **1820** vaid **0.002** sekundi võrra. Seega ei saa UTC senise 27 ühesuunalise korrektsiooni põhjal teha prognoose järgmiste korrektsioonide suuna kohta. "Astronoomiline kell" on keerukam ning Maa pöörlemine ja tiirlemine võivad tulevikus ka kiirenedada (näiteks suurte planeetide mõjul).

Viimased lisasekundid lisati:

23. korrigeerimine: 31. detsember 2005,

24. korrigeerimine: 31. detsember 2008, intervall 3 aastat,

- 25. korrigeerimine: 30. juuni 2012, intervall 3.5 aastat,
- 26. korrigeerimine: 30. juuni 2015, intervall 3 aastat,
- 27. korrigeerimine: 31. detsember 2016, intervall 1.5 aastat.

Seega olid UTC kella näidud **2016 detsembri lõpus ja 2017 jaanuari alul** sekundite kaupa järgmised: (<http://tycho.usno.navy.mil/leapsec.html>)

31 Dec 2016: 23 HOURS 59 MINUTES **59** SECONDS (tavapärane),

31 Dec 2016: 23 HOURS 59 MINUTES **60** SECONDS (**erandlik**),

01 Jan 2017: 00 HOURS 00 MINUTES **00** SECONDS (tavapärane).

- **GPS-aeg**, tagatud sama aatomkellade võrgustikuga, sünkroniseeritud UTC-ga **06-Jan-1980**, kuid **GPS-ajale ei lisata lisasekundeid**. Iga uue UTC lisasekundi lisamisega jäävad UTC kellad lisasekundi võrra maha GPS-kelladest.

GPS – Global Positioning System, 31+1 USA satelliidil põhinev geograafiliste koordinaatide määramise süsteem (1 satelliit ei tööta). Orbiitide kõrgus **20 183 km**, periood **11 h 58 min**. Korraga on vaateväljas **4–13 satelliiti**. Algetes kommertsversioonides lisati asukoha koordinaatidele teadlikult viga, hiljem (ca aastast 2000) vea lisamisest loobuti. Rahvusvaheliste konfliktide korral võidakse mingile piirkonnale või riigile vea lisamine uuesti kehtestada.

GLONASS – Global Navigation Satellite System, 16 Venemaa satelliidil põhinev positsioneerimissüsteem.

GNASS – Global Navigation Satellite System, satelliitidel põhinevate positsioneerimissüsteemide üldnimetus.

Oma positsioneerimissüsteeme on loomas **ESA (European Space Agency)** ja **Hiina**.

LORAN – Long Range Aid to Navigation, satelliidieelne positsioneerimissüsteem, kasutas raadiojaamu. Vastavalt sagedusele levib raadiosignaali erinevalt (peegeldub pilvedelt, ionosfäärilt jne), seega süsteem polnud väga täpne.

Tähtsama nelja ajasüsteemi:

- 1) **local (Teie arvutikella aeg)**,
- 2) **UTC**,
- 3) **GPS**,
- 4) **TAI**

hetkeline, ”jooksev” (muutuv) seis on sekundi täpsusega esitatud aadressil

<http://leapsecond.com/java/gpsclock.htm>

kus on antud ka arvukad lingid ajasüsteemide kirjeldamise kohta. NB! Seda Interneti lehekülge saab kasutada vaid **ajasüsteemide erinevuse demonstreerimiseks**, mitte aga kasutada oma arvutikella seadmiseks. Kohaliku aja, ”**local**”, võtab server Teie oma arvutist ja arvutab selle järgi **UTC**.

See Interneti lehekülg algab märkusega: *The following are based on your PC clock:*

Tehke selline eksperiment: korrigeerige näiteks oma arvuti kella ajutiselt **20 min võrra** ja näete, et ka ekraanil aatomkell nihkub sama suuruse võrra...

Alates **01-Jan-2017** kuni järgmise korrigeerimiseni, on tähtsamate ajasüsteemide erinevused järgmised:

TAI = UTC +37 s, see erinevus muutub iga UTC korrigeerimisega,
GPS = UTC + 17 s, see erinevus muutub iga UTC korrigeerimisega,
TAI = GPS + 19 s, see erinevus tulevikus ei muutu.

Kõige autoriteetsem operatiivne info lisasekundite kohta on Pariisi Observatooriumi bülletäänides (seisuga 07. juuli 2020):

<https://hpiers.obspm.fr/iers/bul/bulc/bulletinc.dat>

INTERNATIONAL EARTH ROTATION AND REFERENCE SYSTEMS SERVICE (IERS)
Paris, 07 July 2020

Bulletin **C 60**

To authorities responsible for the measurement and distribution of time

INFORMATION ON UTC - TAI [mõeldakse miinusmärki]

NO leap second will be introduced at the end of December 2020.

The difference between Coordinated Universal Time UTC and the International Atomic Time TAI is:

from 2017 January 1, 0h UTC, until further notice: **UTC - TAI = -37 s**

Leap seconds can be introduced in UTC at the end of the months of December or June, depending on the evolution of UT1-TAI. Bulletin **C** is mailed every six months, either to announce a time step in UTC, or to confirm that there will be no time step at the next possible date.

Christian BIZOUARD, Director
Earth Orientation Center of IERS
Observatoire de Paris, France

Täiendavat lugemist ajasüsteemide kohta (U.S. Naval Observatory):

<http://tycho.usno.navy.mil/>

kus samuti teatatakse, millal toimus viimane korrigeerimine ning kas käesoleva aasta jook-sul tuleb korrigeerimine või mitte.

Kriitika UTC kohta. **UTC peaks olema defineeritud ilma lisasekunditeta (UTC might be redefined without Leap Seconds, <http://www.ucolick.org/~sla/leapsecs/>).**

Kuna UTC lisasekundid on kaasaegsete tehniliste rakenduste jaoks ebamugavad (iseegi Interneti toimimisele) ning tingivad paljude ajasüsteemide paralleelse kasutamise, arutati **Torinos UTC konverentsil (mai 2003)** võimalust minna **orienteeruvalt aastast 2022** täielikult üle **rahvusvahelisele aatomiajale (TI)**.

Tõenäoliselt aga kulgeks uus aatomiaeg jätkuvalt pisut kiiremini nn "astronoomilisest kella-st". Hinnangud "astronoomilise kella" (GMT, UT1) edaspidisest järk-järgulisest mahajää-musest võimalikust rahvusvahelisest aatomiajast (**TI**) on praegu järgmised:

- umbes **1000 aasta** pärast oleks erinevus **1 h**; see tähendab, et kui Londoni eeslinnas Greenwichis oleks rahvusvaheline aatomiaeg kell **12 TI**, siis see oleks **1 h** enne kohalikku keskpäeva ehk Päikese kulmineerumist vana GMT-aja järgi (eeldusel, et "astronoomiline kell" käib jätkuvalt aeglaselt ja jääb taha aatomiajast);
- umbes **24 000 aasta** pärast oleks erinevus **1 ööpäev**.

Seega, aastatuhandete pärast harjumuspärane ööpäeva jaotus kellaegadeks (Päike ei kulmi-neeruks enam kell 12 aatomikellade järgi), samuti aastaegade vahetumine kalendriliselt muutuks.

Lugege põhjalikumalt prognoose rahvusvahelisest aatomiaja, **TI**, kohta:

<http://www.ucolick.org/~sla/leapsecs/dutc.html>

UTC hetkeaga saab vaadata: <http://tycho.usno.navy.mil/what.html>

US Naval Observatory Master Clock

18:51:28 UTC

Ettevaatust! Mõne aasta eest võis Interneti lehelt <http://www.worldtimeserver.com/> saada tasuta arvutikella seadmise programmi (**Atomic Clock Sync**), nüüd ei ole selle lehe avamine ohutu, sest sealt saab vinge arvutiviiruse.

6.8. GPS ja meteoroloogia

GPS hinnaline kõrvalsaadus on õhusamba niiskussisalduse (kasutatakse ka terminit, sadestatav veeaur, *precipitable water*, W) määramine, sest GPS-signaal aeglustub veeaurus ja seda tuleb positsioneerimisel arvestada. Vastav W arvutamise tehnoloogia arendati alles 1990tel. Senine W määramine toimus raadiosondeerimise niiskusandmete integreerimisel. Kuid raadiosondide niiskusandurid muutusid järjest väheminertsiaalseteks, seega ei saanud koostada pikki W aegridasid, sest vanemate andurite andmestik andis suurendatud niiskuse väärtusi.

Arvutustehniliselt on W määramine aga keerukas, eriti kui kasutatakse vabavaralisi (näiteks MTI) programme. Eestlastest on praegu parimad W spetsialistid Kalev Rannat ja Hannes Keernik. Varem on selle probleemiga tegelenud ka TÜ taustaga matemaatikud Peep Miidla ja Peep Uba.

NB! Matemaatik Peep Uba avastas GPS-meteoroloogiablokis vea, konstandi π kuuendas kohas.