Tähtitieteelliset koordinaattijärjestelemät

Huom! Tämä materiaali sisältää symbolifontteja, eli mm. kreikkalaisia kirjaimia. Jos selaimesi ei näytä niitä oikein, ole tarkkana! (Tällä sivulla esiintyy esim. sekä "a" että "alpha"-kirjaimia, jotka siis pahimmillaan näkyvät molemmat "a"-kirjaimina.)

Johdanto

Maapallolta katsottuna tähtitaivaan asento muuttuu jatkuvasti. Tämä on seurausta kahdesta liikkeestä: maapallon pyörimisestä oman akselinsa ympäri sekä kiertoliikkeestä Auringon ympäri.

Yön kuluessa tähtitaivas kiertyy hitaasti Pohjantähden ympäri, joka on melko tarkasti Maan akselin suunnassa ja näyttää siis pysyvän paikallaan. Suomesta katsottuna horisontti ei ole saman suuntainen kuin taivaan ekvaattori, joten tähdet nousevat ja laskevat, ollen korkeimmillaan etelässä. Ainoastaan Pohjantähden lähistöllä on tähtiä, jotka tekevät täyden ympyrän horisontin yläpuolella. Niitä kutsutaan navanympärystähdiksi eli **sirkumpolaarisiksi** tähdiksi.

Eri vuodenaikoina näkyvissä on eri tähdistöjä. Tämä johtuu Maan liikkeestä Auringon ympäri. Kulloinkin Auringon suunnassa olevat tähdet eivät näy Auringon valon vuoksi. Radioastronomisia havaintoja myös melko lähellä Aurinkoa olevista kohteista, eli siis päivätaivaalla "näkyvistä" kohteista, voi kuitenkin tehdä!

Maapallon akseli ei ole kohtisuorassa Maan ratatasoa vastaan, vaan ekvaattori muodostaa n. 23.5° kulman ratatasoon nähden. Siksi myös Auringon rata taivaalla näyttää poikkeavan ekvaattoritasosta 23.5° verran. Auringon rataa Maasta katsottuna kutsutaan **ekliptikaksi**. Ekliptika kulkee sellaisten tähdistöjen kautta, jotka ovat tuttuja horoskooppimerkeistä.

Maan etäisyys Auringosta vaihtelee 147-152 miljoonan kilometrin välillä. Radan eksentrisyyden vuoksi maapalloon osuvan Auringon säteilyn vuontiheys vaihtelee jonkin verran, mutta tällä ei ole oleellista merkitystä vuodenaikojen vaihteluun (Maa on lähinnä Aurinkoa pohjoisen pallonpuoliskon talven aikaan). Vuodenajat aiheutuvat ennen kaikkea Maan akselin kaltevuudesta ratatasoon nähden. Kesällä Aurinko näkyy korkeammalla kuin talvella, joten auringonsäteet osuvat Maahan jyrkemmässä kulmassa ja lämmittävät sitä tehokkaammin. Kesällä päivät ovat myös pidempiä kuin talvella, joten vuorokauden aikana lämpöenergiaa saapuu enemmän. Lisäksi auringon ollessa matalalla ilmakehän ekstinktio heikentää säteilyä, joka joutuu läpäisemään paksun ilmakerroksen.

Maapallon koordinaattijärjestelmä

Kaksi koordinaattia: leveys ja pituusasteet (ϕ ja λ.) Perustasona on päiväntasaaja eli ekvaattori. Ekvaattorin suuntaiset pikkuympyrät ovat leveyspiirejä. Leveysaste on havaintopaikan luotiviivan ja ekvaattorin väinen kulma, positiivisena pohjoisella ja negatiivinen eteläisellä pallonpuoliskolla. (Samoin se on taivaannavan korkeus horisontista, "taivaannapa" = piste jonne maan akselin jatkuisi). Pituuspiirit eli meridiaanit kulkevat napojen kautta, nollameridiaani on määritelty Greenwichiin. Pituusaste = paikan ja nollameridiaanin välinen kulma, positiivinen itään ja negatiivinen länteen, tai yleisemmin "itäistä pituutta", "läntistä pituutta". Maapallon on navoiltaan litistynyt (pyörimisen vuoksi), joten todellisuudessa luotiviivat osoittavat maapallon keskipisteeseen vain navoilla ja ekvaattorilla. Geosentrinen leveys on todellisuudessa hiukan pienempi kuin maantieteellinen leveys, Helsingille ($\phi = 60°$) n. 10' pienempi.

Taivaanpallo

Taivaanpallo = ajatus siitä, että maapalloa ympäröi pallo, jossa tähdet ovat kiinnittyneinä. Tähden sijainnin ilmoittamiseen tarvitaan kaksi koordinaattia, kun etäisyys ei tässä vaiheessa kiinnosta.

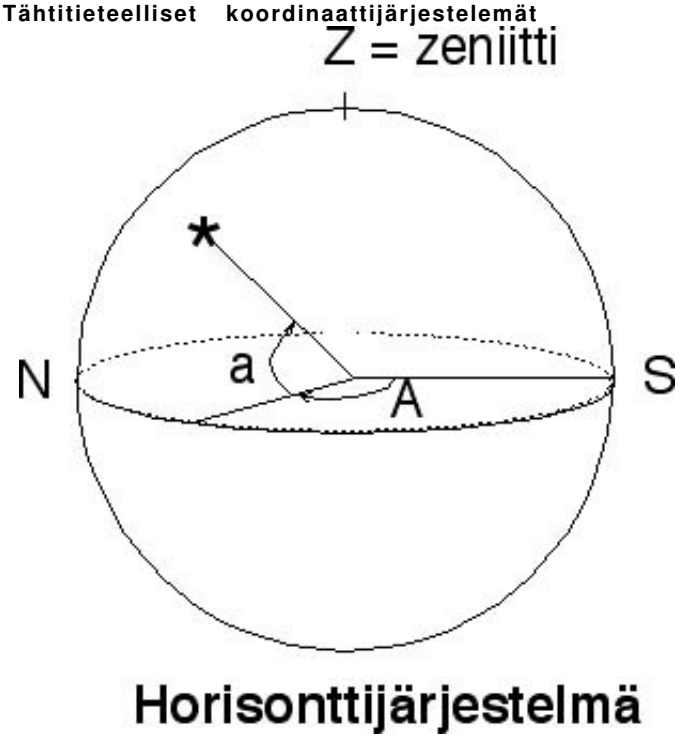
Horisonttijärjestelmä

Havaitsijan kannalta luonnollisin järjestelmä. Havaitsijan yläpuolella on zeniitti (jonka vastakohta nadiiri), zeniitin kautta kulkevia horisontin kohtisuoraan leikkaavia isoympyröitä kutsutaan vertikaaleiksi. Kullakin ajan hetkellä tähden sijainti voidaan määritellä horisonttijärjestelmän kahden koordinaatin avulla.

a = elevaatio (altitudi), korkeus horisontista. Näkyvissä olevien kohteiden elevaatio on välillä 0°-90° (elevaation arvot

A = atsimuutti, vertikaalinen kulmaetäisyys jostakin horisontin kiinteästä suunnasta (Metsähovi: nollakohta etelä, -90° itä, +90° länsi; joissakin paikoissa nollakohtana käytetään pohjoista).

Horisonttijärjestelmän ongelmana on, että tähden molemmat koordinaatit muuttuvat koko ajan. Lisäksi horisonttijärjestelmän koordinaatit pätevät kullakin hetkellä vain tietylle paikkakunnalle. Järjestelmä ei siis sovi esim. tähtikarttojen perustaksi, vaikka käytännössä havaitsijat havaintojaan varten muuttavatkin koordinaatit aina horisonttijärjestelmän mukaisiksi.



Horisonttijärjestelmä

Ekvaattorijärjestelmä

Tähdet näyttävät liikkuvan taivaalla, joten (ajasta ja paikasta riippuva) horisonttijärjestelmä ei sovellu kiinteäksi koordinaatistoksi, jonka mukaan esim. tehdä tähtikartat. Käytetään ekvaattorijärjestelmää, johon tähdet voidaan "kiinnittää".

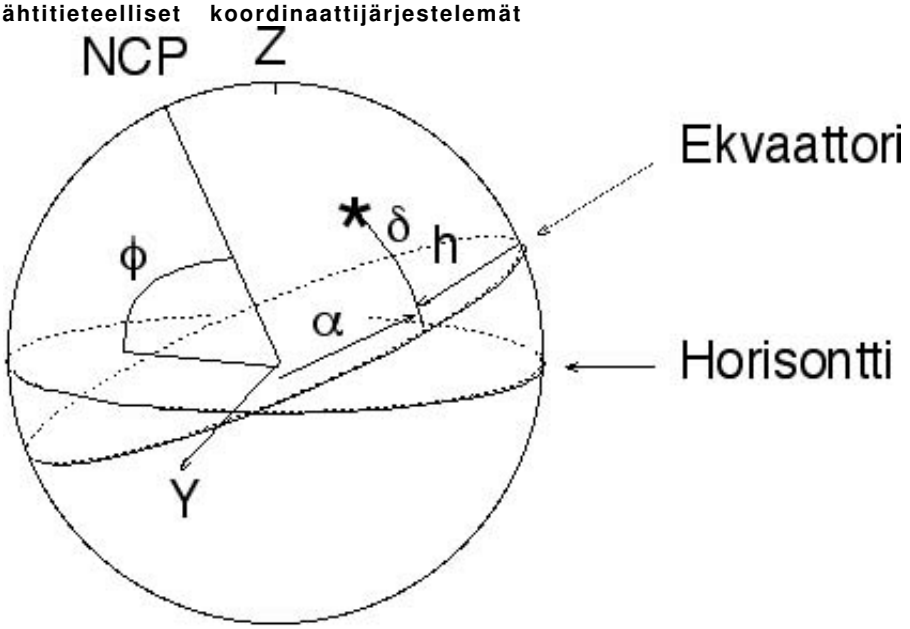
Ekvaattorijärjestelmän perustana on se, että maapallon pyörimisakseli ja tätä vastaan kohtisuora ekvaattoritaso pysyvät lähes muuttumaattomina. Tähden kulmaetäisyys ekvaattorin tasosta pysyy vuorokauden aikana vakiona. Kulmaa kutsutaan deklinaatioksi δ. Ekvaattorin suuntainen koordinaatti on rektaskensio α, ja sen nollakohtana on tietty kiinteä piste (vrt. atsimuutti) ekvaattorilla. Rektaskension nollakohdaksi on valittu ns. kevättasauspiste, joka on Auringon suunta sen siirtyessä ekvaattorin yli pohjoiselle pallonpuoliskolle (kevätpäivän tasauksen aikaan), samalla myös ekvaattorin ja ekliptikan eli Maan ratatason leikkauspiste. Rektaskensio mitataan vastapäivään kevättasauspisteestä. Rektaskension hahmottaminen ei havaitsijalle ole yhtä luonnollinen kuin esim. atsimuutin (joka on kulma etelästä), joten havaintopaikalle voidaan laskea ns. tuntikulma h, joka on kulmaetäisyys etelämeridiaanista myötäpäivään. Tuntikulmalla voidaan ilmoittaa kevättasauspisteen sijainti paikallisessa koordinaatistossa, tähtiajan Θ avulla, joka on kevättasauspisteen tuntikulma.

Tähtiajan, tuntikulman ja rektaskension välillä on yhteys: $\Theta = h + \alpha$.

Tuntikulma ja tähtiaika kasvavat tasaisesti ajan mukana, joten ne ilmoitetaan aikamitoissa ($24^h=360^\circ$, $1^h=15^\circ$, $1^m=15'$, $1^s=15''$). Rektaskensiokin ilmoitetaan aina aikamitoissa (vaikka siis tähden rektaskensio pysyy vakiona (lyhyen ajan sisällä)).

Tähtiaika ei tarkkaan ottaen kulje samaa vauhtia aurinkoajan ("normaaliaika") kanssa, vaan tähtiaikavuorokausi on 3min56.56s lyhyempi.

Y = Kevättasauspiste (merkitään yleensä ihan omalla "Oinaan tähtikuvion merkillä", jollaista näistä html-symboleista ei irtoa...) = valittu kiintopiste ekvaattorilla. Todellisuudessa ekvaattorin ja eklipitikan leikkauspiste, eli piste jossa Aurinko siirtyy pohjoiselle pallonpuoliskolle.
δ = deklinaatio, kulmaetäisyys ekvaattorista.
h = tuntikulma, kulmaetäisyys etelämeridiaanista myötäpäivään.
Θ = tähtiaika, kevättasauspisteen tuntikulma.
α = rektaskensio, kulmetäisyys ekvaattoria pitkin vastapäivään kevättasauspisteestä.
ϕ = taivaannavan korkeus horisontista = havaintopaikkakunnan leveyaste.



Ekvaattorijärjestelmä

Tähden sijainti voidaan siis ilmoittaa ykiselitteisesti rektaskension (engl. right ascension) ja deklinaation (eng. declination) avulla. Elevaation ja atsimuutin laskemiseksi tarvitaan lisäksi tieto havaintopaikan latitudista sekä kellonaika. Tuntikulma on rekaskensiota vastaava paikallinen koordinaatti -- rektaskension nollakohta näyttää liikkuvan taivaalla, koska maapallo pyörii.

Muunnoskaavat koordinaattijärjestelmien välillä

Horisonttijärjestelmästä ekvaattorijärjestelmään:

$$\sin h \cos \delta = \sin A \cos a$$
$$\cos h \cos \delta = \cos A \cos a \sin \phi + \sin a \cos \phi$$
$$\sin \delta = -\cos A \cos a \cos \phi + \sin a \sin \phi$$

Ekvaattorijärjestelmästä horisonttijärjestelmään:

$$\sin A \cos a = \sin h \cos \delta$$
$$\cos A \cos a = \cos h \cos \delta \sin \phi - \sin \delta \cos \phi$$
$$\sin a = \cos h \cos \delta \cos \phi + \sin \delta \sin \phi$$

Elevaatio ja deklinaatio ovat välillä -90°,$+90^\circ$, joten kulman sini määrää niiden kulmat yksikäsitteisesti. Atsimuutti ja rektaskensio ovat välillä 0,$+360^\circ$ (tai 0^h,24^h), joten niiden tapauksessa oikean neljänneksen määrittämiseksi on laskettava sekä kosini että sini.

Tähtiaika

Maassa tietyssä pisteessä oleva tarkkailija näkee Auringon etelässä aina 24h kuluttua. Samalla kun Maa pyörii, se on kuitenkin edennyt radallaan, ja todellisuudesswa sen on pyörähdettävä enemmän kuin yksi kierros, jotta tarkkailija näkisi Auringon taas etelässä. Tähtiaika edistää 3m 56.56.s vuorokaudessa verrattuna todelliseen aurinkoaikaa käyvään kelloon.

Tähtiaika on kevättasaushetkellä 0h. Kevättasaushetkellä (n. 21.3.) Aurinko ja kevättasauspiste ovat yhtä aikaa etelässä, eli tähtiaika on 0h klo 12 paikallista aikaa. Näin ollen tähtiaika voidaan laskea kaavasta:

$$\Theta = T + 12h + n*4min$$

missä n= vuorokausien määrä kevättasauspäivästä
T = paikallinen aurinkoaika ("tavallinen aika").
Todellisuudessa kaavaan tulee ottaa mukaan vielä ns. ajantasaus, joka on Maan rataliikkeen (elliptinen rata, kalteva ratataso) aiheuttama.

Meridiaani, kulminaatiot

Taivaan pohjoisnapa jakaa meridiaanin etelä- ja pohjoismeridiaaneihin. Kohde on korkeimmillaan ohittaessaan etelämeridiaanin, jolloin sen tuntikulma on 0h. Kohteen sanotaan tällöin kulminoivan tai olevan yläkulminaatiossa. Kun h=12h, kohteen sanotaan olevan alakulminaatiossa. Korkeus yläkulminaatiossa (sijoitetaan h=0h yllä oleviin kaavoihin):

$$a_{max} = 90^\circ - \phi + \delta,$$

kun kohde kulminoi zeniitin eteläpuolella,
$= 90° + \phi - \delta$,
kun kohde kulminoi zeniitin pohjoispuolella..

Jos molemmat kulminaatiot tapahtuvat horisontin yläpuolella, kohde on aina näkyvissä = sirkumpolaarinen. Jos kumpikin kulminaatio tapahtuu horisontin alapuolella, kohde ei ole havaittavissa. Kohde siis voi näkyä havaintopaikalla kun korkeus on positiivinen eli $\delta>\phi-90°$. Pienemmät arvot tarkoittavat, että kohde ei ole koskaan näkyvissä (esim. Etelän Risti Suomessa, tms.). Kohteille, jotka ovat aina näkyvissä eli sirkumpolaarisille kohteille, pätee (kun h=12h) $a_{min}=\delta+\phi-90°$.

Nousu- ja laskuajat

Yllä esitetyistä muunnoskaavoista voidaan johtaa kaava taivaankappaleen tuntikulmalle h sen ollessa korkeudella a.

$$\cos h = -\tan \delta \tan \phi + \sin a / (\cos \delta \cos \phi)$$

Jos halutaan laskea tietyn taivaankappaleen nousu- ja laskuajat, kaava muuttuu varsin yksinkertaiseksi, sillä tällöinhän a=0. Eli nousu- ja laskuhetken tuntikulma saadaan kaavasta:

$$\cos h = -\tan \delta \tan \phi$$

Kun kohteen rektaskensio tunnetaan, saadaan tähtiaika laskettua kaavalla

$$\Theta = h + \alpha$$

Tarkkoja laskuja varten tulee vielä huomioida ilmakehän aiheuttama refraktio, jota käsitellään kohdassa Koordinaatteja muuttavat tekijät.

Auringon liike ja koordinaatit

Koska Maan akseli ei ole ratatason suuntainen, Aurinko ei näytä kulkevan taivaalla pitkin päiväntasaajaa, vaan on välillä sen ylä- ja välillä alapuolella. Maan akselin kaltevuuskulma on $\varepsilon=23.5°$. ja tämän johdosta Aurinko näkyy alimmillaan suunnassa, joka kohtisuoraan Maan suhteen (ratatasossa) muodostaa ε kulman ekvaattoristsa etelään, eli sen deklinaatio on tällöin $\delta=-23.5°$, ja ylimmillään vastaavasti $\delta=+23.5°$.

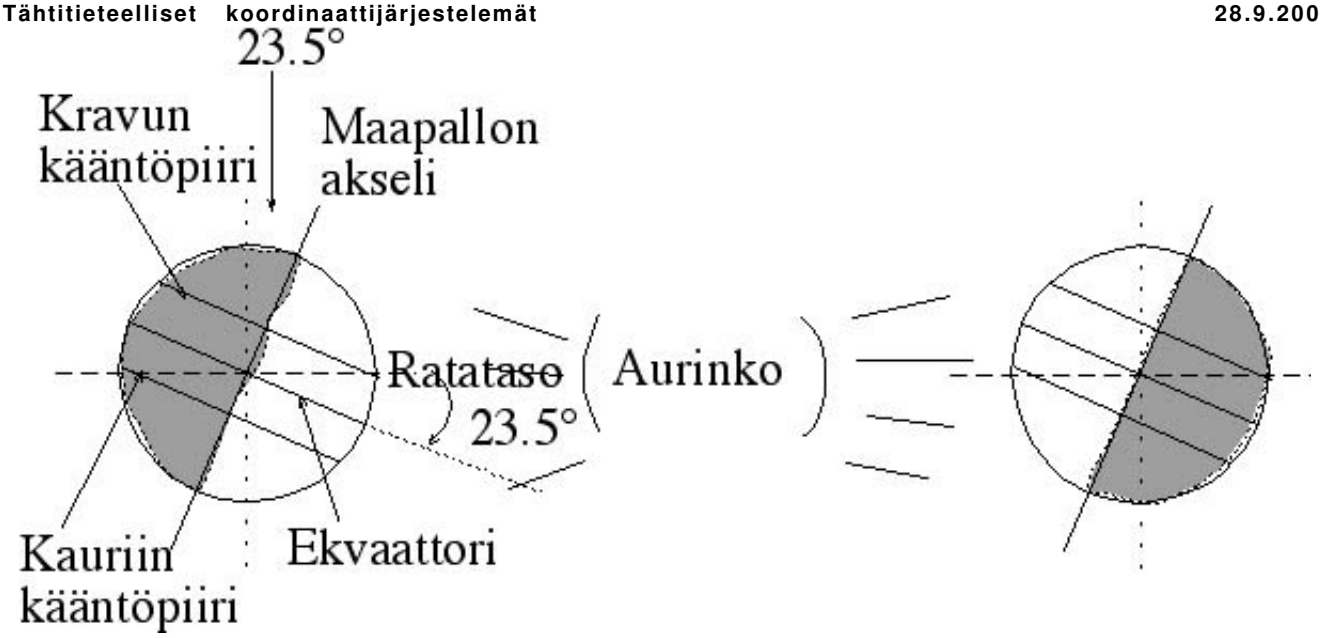
Leveyspiirejä $+23.5°$ ja $-23.5°$ pidetäänkin päiväntasaajan ohella niin tärkeinä, että niille on annettu omat nimet: leveyspiiriä $+23.5°$ kutsutaan Kravun kääntöpiiriksi ja $-23.5°$ Kauriin kääntöpiiriksi. Kääntöpiireillä Aurinko on zeniitissä kerran vuodessa, ja kaikkialla niiden välissä kaksi kertaa vuodessa.

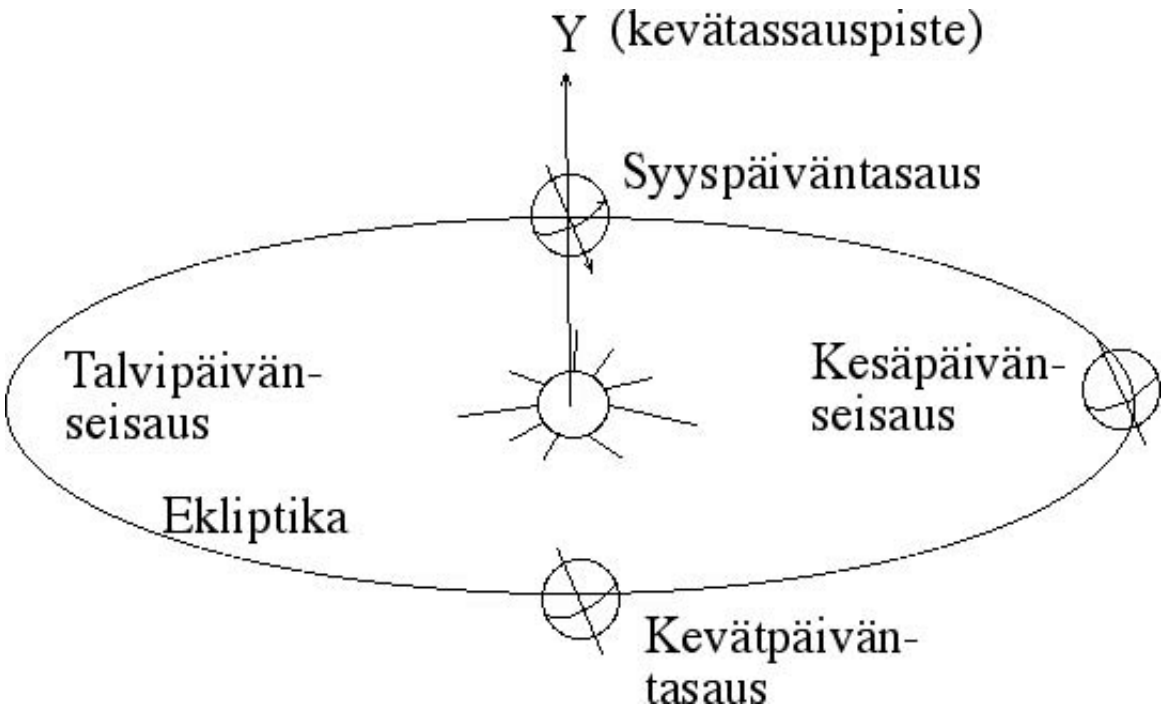
Pohjoiseksi napapiiriksi kutsutaan eteläisintä leveyspiiriä, jolla Aurinko voi (parhaimmillaan) näkyä koko vuorokauden. "Sirkumpolaarisen Auringon" näkymisen leveyspiiri saadaan kaavasta $90°-\delta$, ja eteläisin mahdollinen leveyspiiri saadaan kun Auringon deklinaatio on maksimissaan eli $+23.5°$, joten $\phi=90°-23.5°$. Vastaavasti päätellen voidaan laskea eteläinen napapiiri.

Äsken pääteltiin Auringon deklinaation maksimi ja minimi, ja Maan rataliikkeen perusteella on helppo päätellä myös, että deklinaatio vaihtelee vuoden sykleinä, ollen minimissään Auringon ollessa alimmillaan eli talvipäivän seisauksen aikaan (n. 21.12.) ja maksimissaan puolestaan kesäpäivän seisauksen aikaan (n. juhannuksena).

Myös Auringon rektaskension suuruus on helppo päätellä. Aiemmin opimme, että rektaskensio mitataan suhteessa kevätpäiväntasauspisteeseen, joka siis on Auringon suunta sen siirtyessä ekvaattorin yli pohjoiselle pallonpuoliskolle. Näin tiedämme, että kevätpäivän tasauksen aikaan (n. 21.3.) Auringon rektaskensio on $\alpha=0^h$. Samalla sen deklinaatio on luonnollisesti $\delta=0°$, sillä Auringon näkyessä ekvaattorin suunnassa kulma ekvaattorin ja Auringon suunnan välillä on $0°$. Maan rataliikkeen perusteella päätteleme, että Auringon rektaskensionkin tulee vaeltaa vuoden sykleinä, joten syyspäivän tasauksen aikaan se on $\alpha=12^h$, kesäpäivän seisauksen aikaan $\alpha=6^h$ ja talvipäivän seisauksen aikaan $\alpha=18^h$.

Oheiset kuvat toivottavasti selventävät Auringon koordinaatteja!





Ekliptiset koordinaatit, galaktiset koordinaatit

Aurinkokunnan kappaleiden koordinaateille käytetään yleensä koordinaattijärjestelmää, jonka perustana on Maan ratataso eli ekliptika. Järjestelmää kutsutaankin **ekliptikajärjestelmäksi**, ja käytettävät koordinaatit ovat ekliptikaalinen pituus λ ja ekliptikaalinen leveys β. Ekliptikaalisia koordinaatteja käytetään, koska aurinkokunnan kohteiden rektaskensio ja deklinaatio muuttuu niin nopeasti (tähdillä ne sen sijaan ovat lähes vakiot), joten (myöskin muuttuvat!) ekliptikaaliset koordinaatit ovat luontevampi tapa ilmoittaa kohteen paikka radallaan "suuntana Maasta katsottuna" (**ekliptikaaliset geosentriset koordinaatit**) tai "suuntana Auringosta katsottuna" (**ekliptikaaliset heliosentriset koordinaatit**).

Linnunrataa tutkittaessa on usein luontevaa käyttää perustasona sitä Linnunradan tasoa, jossa Aurinkokin sijaitsee. Linnunradan kohteille käytettävissä **galaktisissa koordinaateissa** origona on Aurinko (joka ei sijaitse lähelläkään Linnunradan keskusta! Tästä lisää myöhemmin Linnunrata-aiheisella luennolla.)

Ekliptikaaliset ja galaktiset koordinaatit ovat helposti muunnettavissa ekvatoriaalisiksi koordinaateiksi. Näistä koordinaattijärjestelmistä saa lisätietoja ja muunnoskaavat esim. Tähtitieteen perusteet- kirjasta.

Päivitetty viimeksi: 2000-09-28 / mtt.

Takaisin luentosivulle.
Takaisin kurssin pääsivulle.