



NLS
FINNISH GEOSPATIAL
RESEARCH INSTITUTE
FGI

Ptolemaios ja antiikin tähtitiede

Markku Poutanen

Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus

Sisältö

Ptolemaios – kuka, mitä, missä?

Antiikin perintö, aika ennen Ptolemaiosta

Almagest – sisältö

Almagestin merkitys keskiajan ja uuden ajan alun Euroopassa

Ptolemaioksen ja Almagestin perintö

Ptolemaios – kuka, mitä, missä?

Klaudios Ptolemaios (Κλαύδιος Πτολεμαῖος)

- Syntyi Ptolemais Hermiou -nimisessä kaupungissa Ylä-Egyptissä n. v. 90 / 100 (?)
- Eli ja työskenteli Aleksandriassa Egyptissä
- Kuoli v. 168 Aleksandriassa (?)
- Ptolemaios on kreikkalainen nimi. Lisänimi Klaudios on roomalainen sukunimi
- Etunimeä ei tiedetä
- Elämästä tiedetään hyvin vähän, vaikka oli yksi aikansa merkittävimmistä oppineista



Ptolemaios – kuka, mitä, missä?

Kolme merkittävää teosta säilynyt nykypäiviin:

Almagest (*Μαθηματικὴ Σύνταξις Mathēmatikè Sýntaxis*)

Myöhemmin muuttui muotoon *Ἡ Μεγάλη Σύνταξις (Hē Megálē Sýntaxis)*, josta edelleen arabiaksi *المَجِسْطِيّ al-majisṭī* josta sitten keskiajalla kääntyi latinaksi *Almagestum*.

- Tähtitiede, maailmanmallit, tähtiluettelo

Geografia (*Γεωγραφικὴ Ὑφήγησις, Geōgraphikè Hyphégēsis*)

- Maantiede, kartat

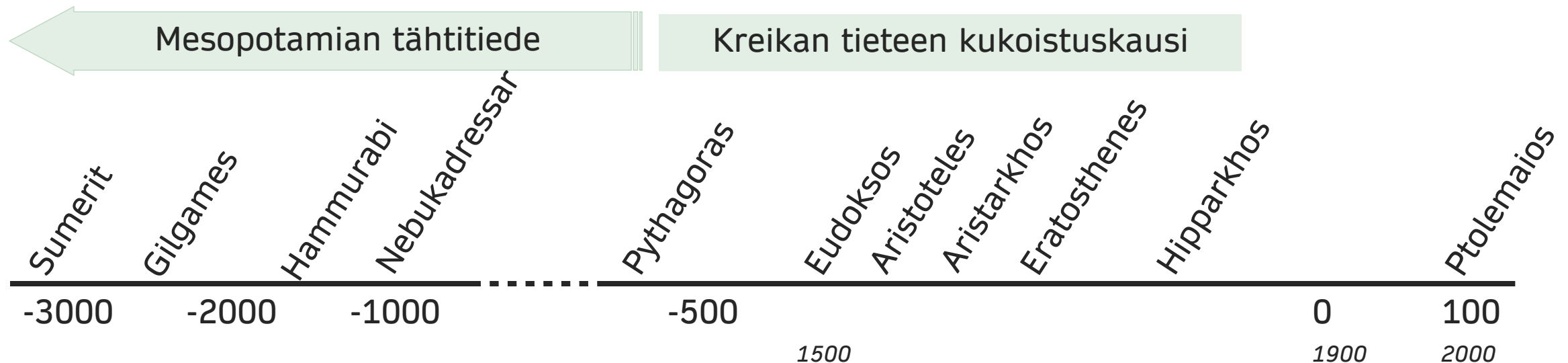
Tetrabiblos ("Nelikirja", *Μαθηματικὴ τετράβιβλος σύνταξις*)

- Astrologian perusteos

Antiikin perintö, aika ennen Ptolemaiosta

Ptolemaioksella ei kovin radikaalisti uutta, vaan ansio nimenomaan olemassa olevan tiedon yhdistämisessä.

Satojen vuosien aikana muodostunut maailmankuva, josta Ptolemaios kokosi yhtenäiset esitykset Almagestiin, Geografiaan ja Tetrabiblokseen.



Mesopotamian perintö

Satoja vuosia matematiikkaa, tähtitiedettä, ...

- Matematiikka, 60-kantainen lukujärjestelmä
- Numeroiden paikkamerkintä, ts. numeromerkin arvo riippui paikasta luvussa. → Laskutoimitukset nykyisen kaltaisia, toisin kuin kreikkalaisten ja roomalaisten järjestelmässä.
- Ei nollaa (tulee myöhemmin Intiasta)
- Pinta-alojen ym. mittausta, mm. ympyrän kehä = 3 x läpimitta ($\pi = 3$)
- Kehittynyttä algebraa, mm. $\sqrt{2} = 1 + \frac{24}{60} + \frac{51}{60^2} + \frac{10}{60^3} = \frac{305470}{216000} = 1.41421296$
- Interpolointia likimääräisten arvojen saamiseksi ("siksak-menetelmä")

$$28 + 121 = 149$$

$$\text{XXVIII} + \text{CXXI} = \text{CXLIX}$$

$$\frac{28}{60} + 2_{60} \frac{1}{60} = 2_{60} \frac{29}{60}$$

Mesopotamian perintö

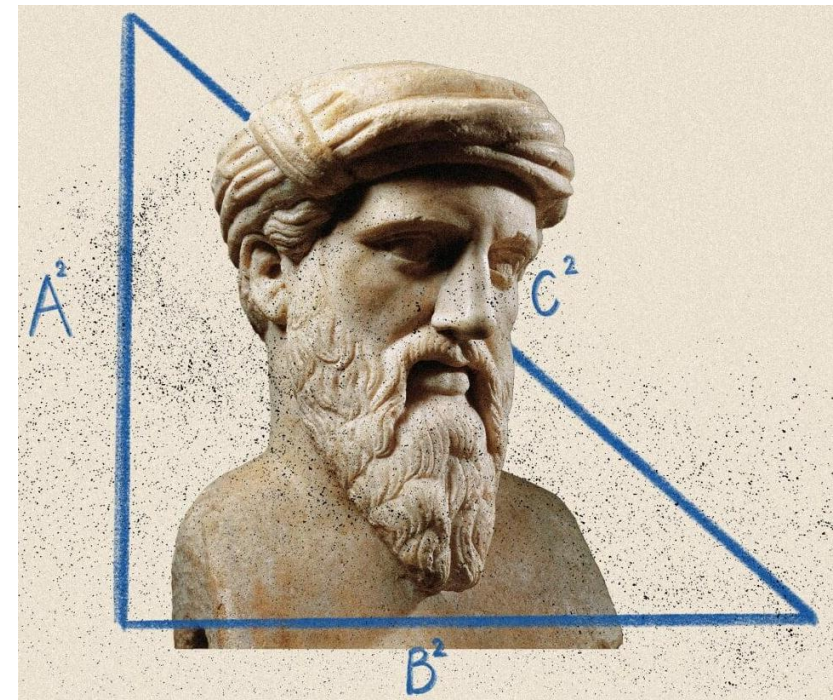
- Eurooppalaisen tähtitieteen (ja astrologian) perusteet syntyivät Mesopotamiassa
- Pitkäaikaiset, tarkat tähtitaivaan havainnot
- Ensimmäiset kuu-aurinkokalenterit
- Kuukalenterin 19 vuoden jakso (19 vuotta on 235 kuukautta), ero todelliseen vain 2 tuntia (tunnetaan nyk. Metonin jaksona)
- Auringon-, kuunpimennysten ja planeettojen paikkojen ennustaminen (perustuu jaksoihin, ei teoriaa liikkeistä tai radoista)
- Kaldealaiset taulut n. 300 eaa, Kuun vaiheet, synodisen kuukauden keskipituus sekunnin tarkkuudella.



Pallonmuotoinen Maa

Pythagoras (n. 580 – 500 eaa.)
(oik. pythagoralainen koulukunta)

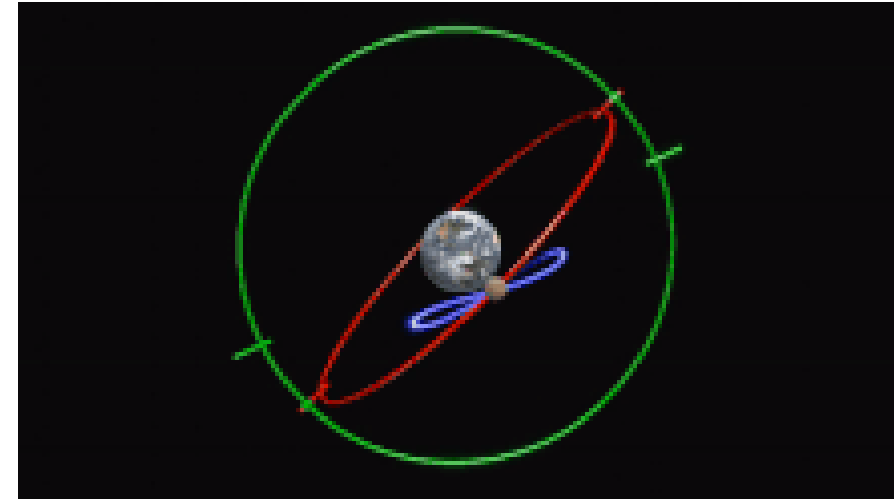
- Suorakulmaiset kolmiot
- Maan pallomainen muoto (laivan lähtö, tähtitaivas eri leveysasteilla, Maan varjo Kuun pinnalla kuunpimennyksessä)
- Musiikki: kahden värähtelevän kielen tuottamat sävelet harmonisia, jos kielten pituuksien suhde yksinkertainen murtoluku → taivaankappalten liikkeiden harmonia
- Irrationaaliluvut, luku joka ei ole esitettävissä minkään kahden kokonaisluvun suhteena (esim. $\sqrt{2}$, $\sqrt{5}$)



Eudoksoon pallonkuoret

Eudoksos Knidoslainen (n. 408 – 355 eaa.)

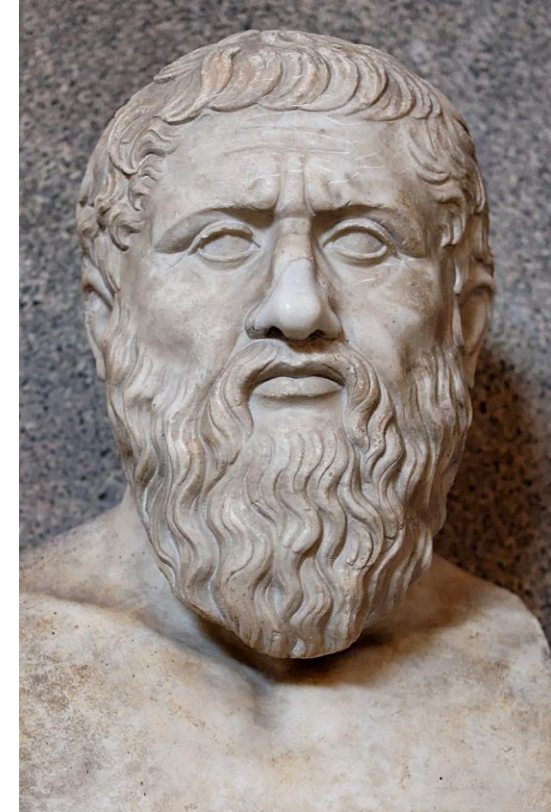
- Geometrinen malli planeettojen liikkeille
- Kukin planeetta kiinnittynyt Maan ympäri pyörivään pallonkuoreen. Ei ehkä todellisia vaan käsitti ne geometriseksi kuvaukseksi
- Liikkeen selittämiseen tarvitaan useampi kuin yksi pallonkuori
- Samankeskiset pallonkuoret, 4 kpl/planeetta
 - Vuorokautinen liike; Liike tähtien suhteen; 2 kpl silmukkaan
- Malli epätarkka → lisää pallonkuoria



Tarvitaanko havaintoja lainkaan?

Platon (427 – 347 eaa.)

- Antiikin yksi kuuluisimmista filosofeista; Sokrateen oppilas, Aristoteleen opettaja
- **Rationalismi**, tietoa ei saada havaintojen vaan pelkän järjen avulla
- Maailma jaettavissa kahteen osaan: järjen käsitettävissä olevaan ”muotojen” maailmaan eli ideamaailmaan ja aistein havaittavissa olevaan maailmaan
- Hidasti havaintoihin perustuvan empirismin syntyä



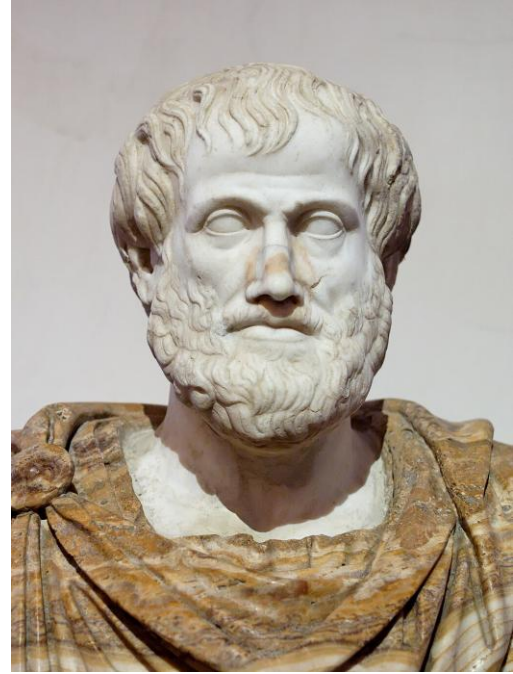
Aristoteleen mahtiasema

Aristoteles (384 – 322 eaa.)

- Platonin oppilas, merkittävin antiikin filosofeista
- Vaikutti tieteeseen pitkälle uuden ajan alkuun

Taivaasta (Περὶ οὐρανοῦ, Peri ouranou; lat. De caelo)

- Kuunylinen maailma: ikuinen, muuttumaton, täydellinen, **ympyräliike**,...
- 4 alkuainetta (maa, vesi, ilma, tuli)
- "Painovoimateoria" = alkuaineella on oma paikkansa ja liikesuunta; painavat kappaleet putoavat nopeammin kuin kevyemmät
- Eudoksoon pallot eivät ole abstraktioita, vaan todellisia kristallikuoria
- Maa kaikkeuden keskipisteessä
- Pallonkuorten liike välittyi ulkoa sisään päin aina seuraavaan, uloimpana kiintotähtien kuori; tarvittiin kaikkiaan 55 palloa



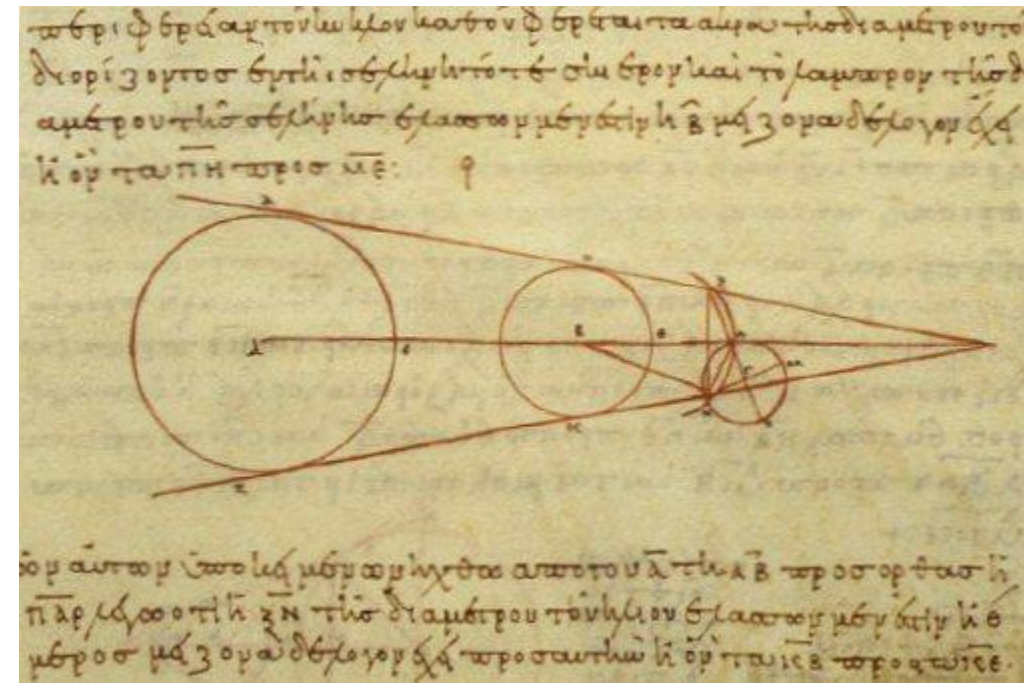
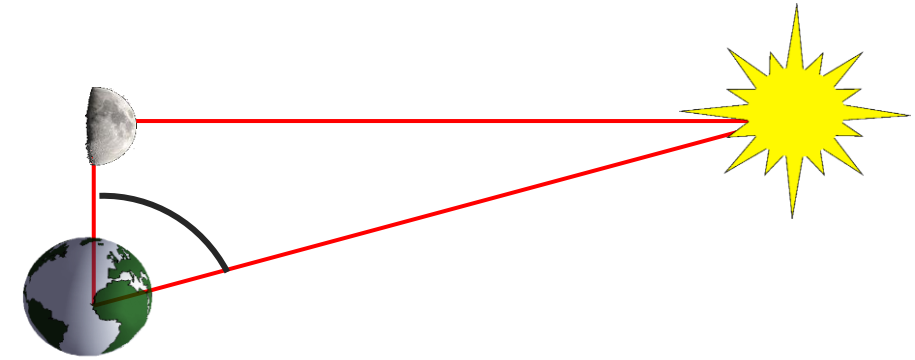
Maa pyörii ja kiertää Aurinkoa

Herakleides Pontoslainen (388 – 315 eaa.)

- Maa pyörähtää akselinsa ympäri kerran vuorokaudessa

Aristarkhos Samoslainen (310 – 230 eaa.)

- Aurinko keskipiste, Maa kiertää Aurinkoa
- Osoitti, että Aurinko on kauempana kuin Kuu ja suurempi (tosin mittakaava vielä väärin kertoimella 20)
- Maailmankaikkeuden täytyy olla tätä etäisyyttä huomattavasti suurempi

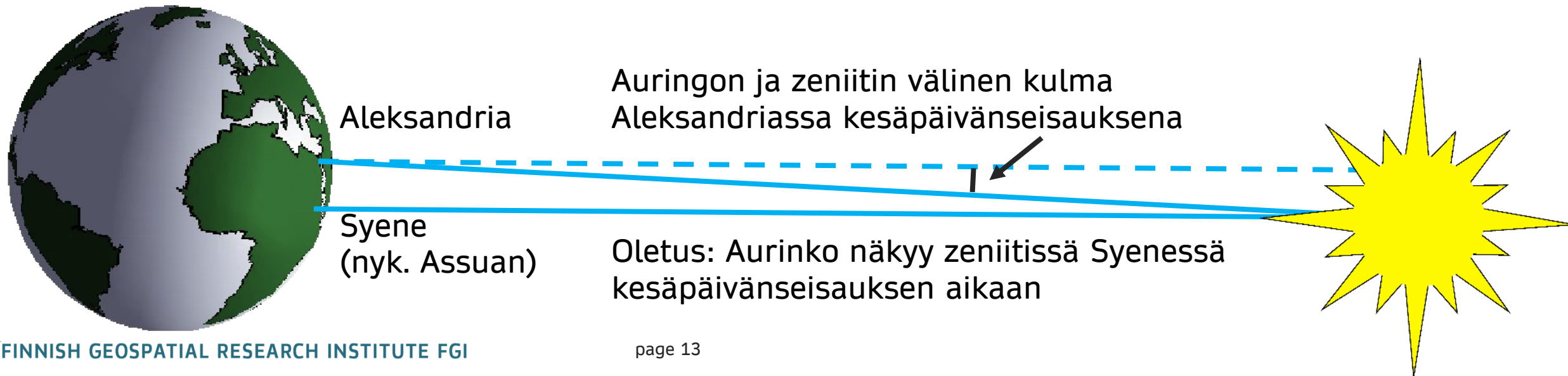


Oikea käsitys Maan koosta

Eratosthenes (276 – 194 eaa.)

- Maan koon määrittäminen

Zeniittietäisyys Aleksandriassa 7° . Oletetaan Syenen etäisyydeksi 5000 stadiaa.
Maan ympärysmitta on $360/7 * 5000 = 257\,000$ stadiaa. Jos yksi stadion on **157 m (??)**,
niin Maan ympärysmitta on **40 370 km**.

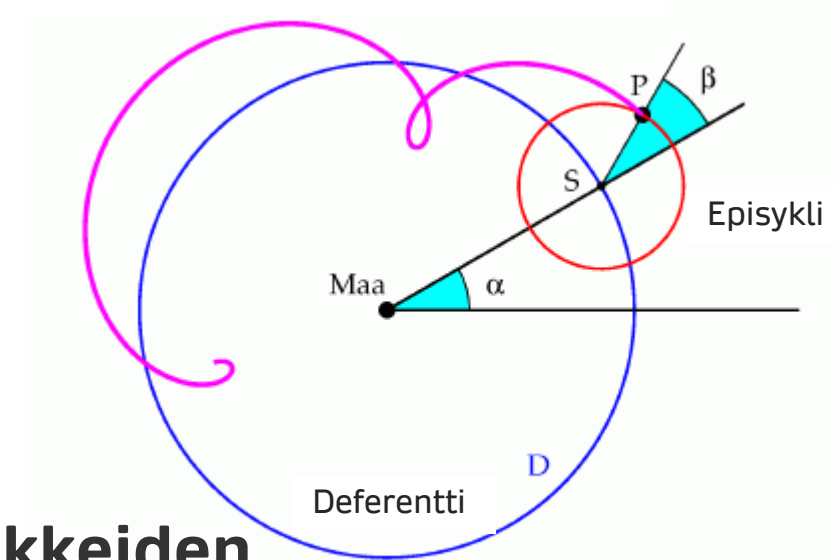


Apollonioksen episyklit

Apollonios Pergeläinen (n. 265 – 170 eaa.)

- Matemaatikko
- Kartioleikkaukset, episykliteoria
- Planeettojen liikettä voidaan kuvata **ympyräliikkeiden yhdistelmillä**.
- Planeetta P kiertää tasaisella nopeudella pitkin episykliympyrää. Sen keskipiste liikkuu tasaisella nopeudella pitkin deferenttiä, jonka keskipisteessä on Maa.
- Episyklit on laskentaa varten oleva malli. Eivät korvaa pallonkuoria maailmankaikkeuden mallina.

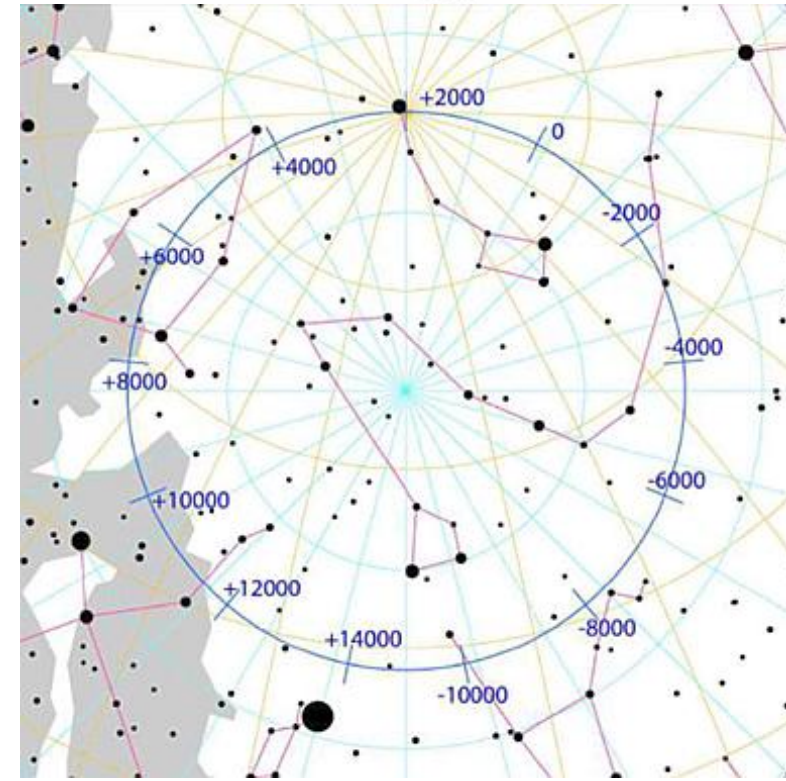
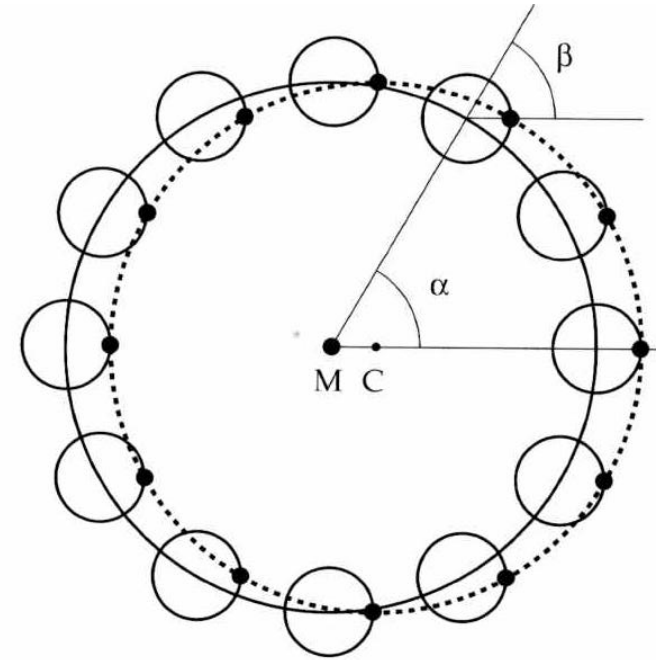
Planeetan näennäinen rata taivaalla



Tähtiluettelo ja prekessio

Hipparkhos Nikealainen (190 – 120 eaa.)

- Merkittävin antiikin tähtitieteilijä
- Eksentrimalli, deferenttiympyrä korvataan eksentrillä, planeetan rata ei ole maakeskinen
- Tähtiluettelo, mittasi 800 tähden paikat
- Koordinaattijärjestelmä
- Maan pyörimisakselin prekessio vertaamalla tähtien paikkoja 150 vuotta aiempiin
- Tähtien kirkkaudet kuuteen suuruusluokkaan
- ym. ym.

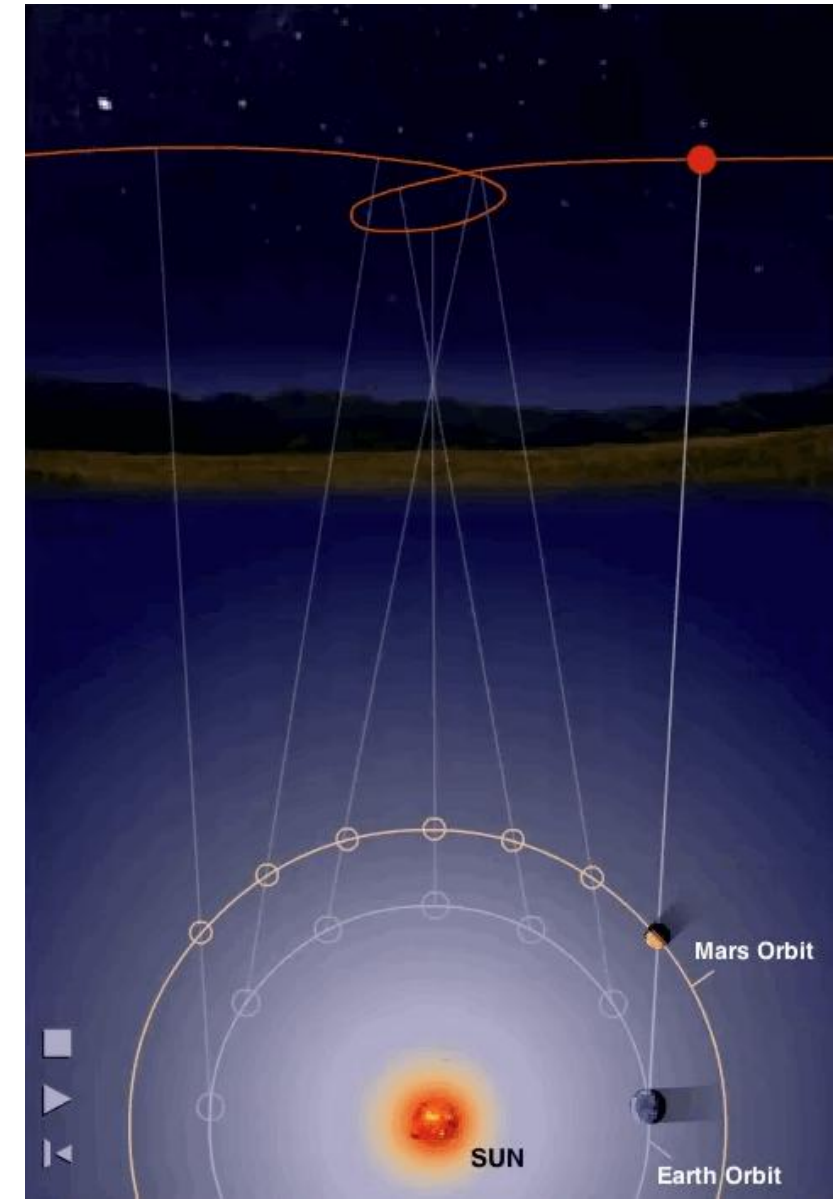
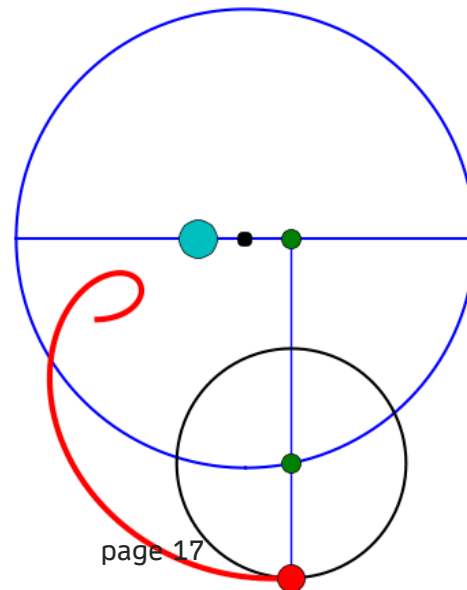
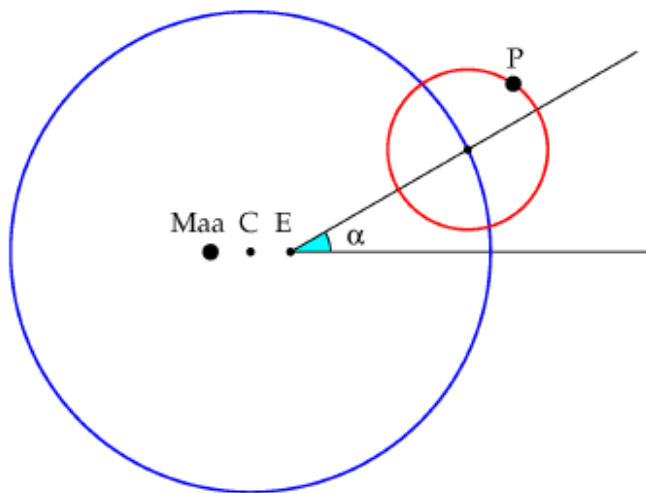


Almagest – sisältö

- Ilmestyi n. v. 150, sivumäärä useita satoja; esim. Toomerin englanninkielinen käännös kommentaareineen v. 1984 yli 600 sivua
- Koottu sen aikainen tähtitieteellinen tieto, mukaan lukien Hipparkhoksen tähtiluettelo
- Kolmetoista lukua, joita kutsutaan kirjoiksi
- Kaksi ensimmäistä kirjaa käsittelee jatkossa tarvittavaa matematiikkaa
- Kirjat III – VI Auringon ja Kuun liikkeistä, pimennyksistä ym.
- Kirjat VII ja VIII tähtiluettelo
- Kirjat IX-XIII planeetat Merkurius, Venus, Mars, Jupiter, Saturnus

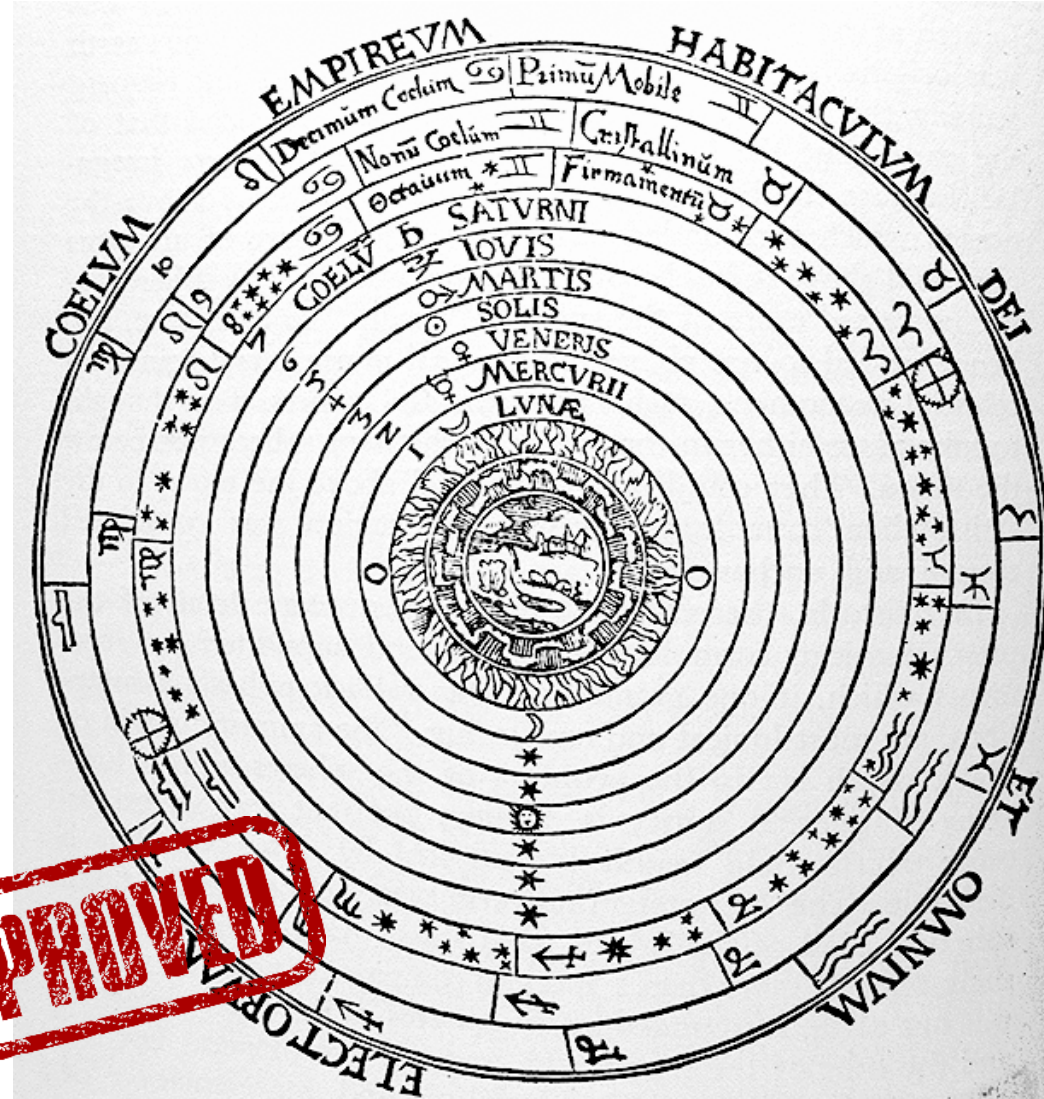
Episyklit → Ekvanttiliike

- Episyklit ja eksentrit korvataan ekvanttiliikkeellä.
- Episykliympyrän liike tasaista pisteestä E katsottuna. Maa symmetrisesti ympyrän keskipisteen C vastakkaisella puolella.



Planeettojen liikkeet ja maailmanmalli

- Maakeskinen, P. hylkäsi Aristarkhoksen aurinkokeskisen mallin
- Planeettojen liikkeet ekvanttimallilla
- Auringon liikkeen kuvaamiseen riittää episykli
- Kuun liike vaikea selittää. Kuun etäisyys n. 60 Maan sädettä
- Primum Mobile, ensimmäinen liikuttaja kymmenennessä taivaassa
- Malli säilyi uuden ajan alkuun saakka, kirkon hyväksymä



Tähtiluettelo

48 tähdistöä, 1022 tähteä

Eläinradan 12 huonetta

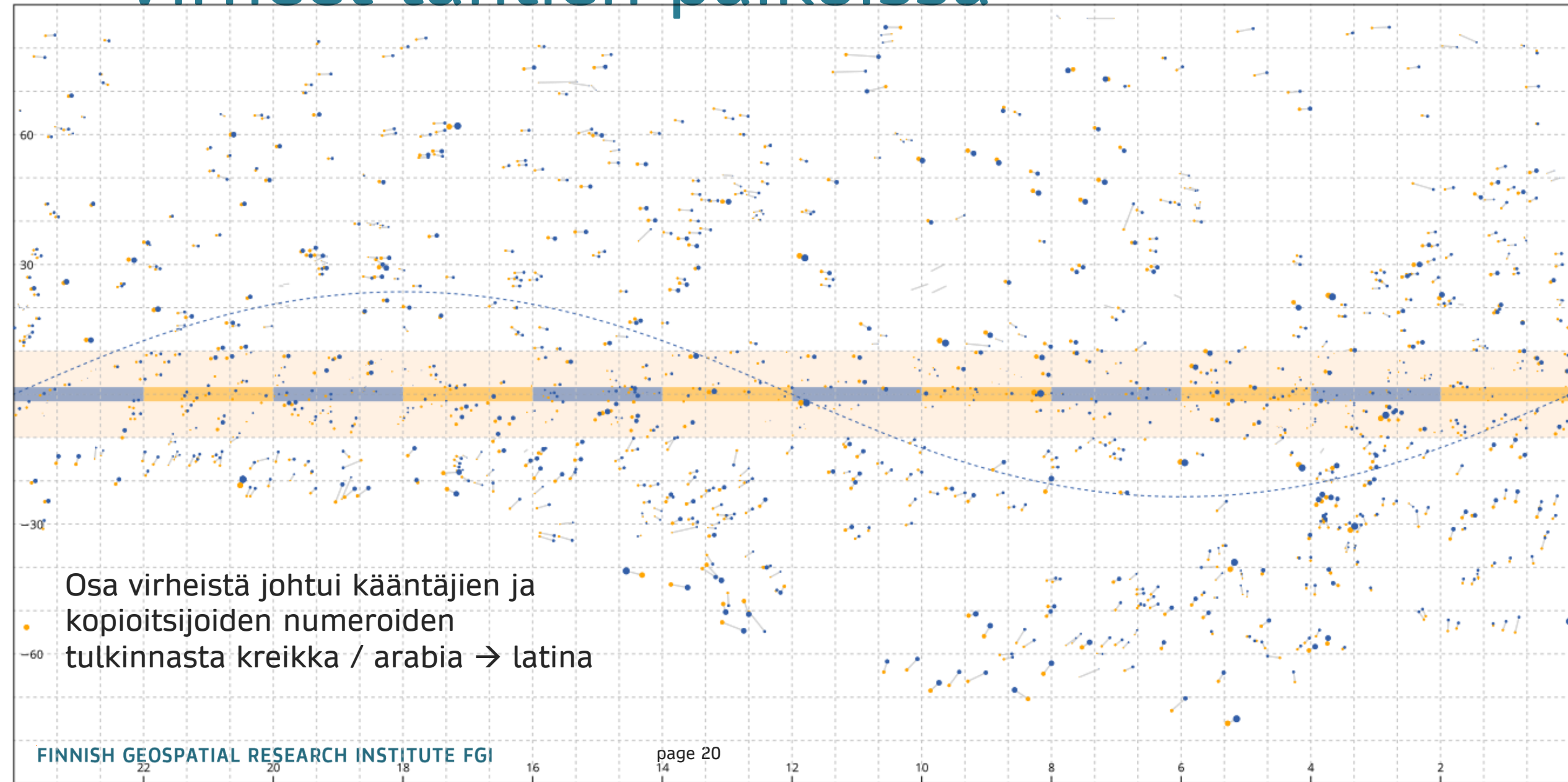
- Virheitä tähtien paikoissa
- Ei ehkä itse havaittuja paikkoja, vaan lisännyt Hipparkhoksen luetteloon prekessiokorjauksen?
- Joidenkin ilmiöiden ajoituksissa isoja virheitä
- "Korjattuja" havaintoja?

ΙΕΡΟΝΟΥ
ΔΙΟΓΕΙΟΝΣΚΟΡΙΠΩΙ

ΑΡΙΘΜΟΙ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡ ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΙΩΚΑΛΙ ΔΙΑΦΟΡ ΕΥΚΕΙ
ΚΟΙΝΟΙ ΨΗΦΟΦΑΙΡ ΨΗΦΟΦΑΙΡΕ ΑΦΑΙΡΕ ΑΦΑΙΡΕ ΠΡΟΣΦΑΦΑΙΡ ΠΡΟΣΦΑ ΑΦΑΙΡΕ

Σ	ΤΗΑ	Θ	ΛΖ	Θ	Β	Θ	Β	Θ	ΛΣ	Θ	Β	Σ	Θ
ΙΒ	ΤΑΗ	Α	ΙΓ	Θ	Λ	Θ	Λ	Α	ΙΑ	Θ	Λ	Σ	Θ
ΙΗ	ΤΜΒ	Α	ΑΒΘ	Θ	Σ	Θ	Ε	Α	ΜΕ	Θ	Ζ	ΗΗ	Θ
ΙΚΑ	ΤΑΣ	Ε	ΙΚΓ	Θ	Η	Θ	Ζ	Β	ΙΗ	Θ	Θ	ΗΕ	Α
Λ	ΤΑ	Β	ΝΖ	Θ	Θ	Θ	Η	Β	Η	Θ	ΙΑ	ΗΓ	Α
ΛΣ	ΤΙΚΑ	Γ	ΙΚΘ	Θ	Γ	Θ	Γ	Γ	ΙΚ	Θ	Π	ΠΘ	Α
ΜΒ	ΤΙΗ	Γ	ΜΘ	Θ	ΙΑ	Θ	ΙΑ	Γ	ΜΘ	Θ	ΙΕ	ΜΣ	Α
ΜΗ	ΤΙΒ	Δ	ΙΚΗ	Θ	ΙΑ	Θ	ΙΒ	Δ	ΙΖ	Θ	ΙΖ	ΜΓ	Α
ΝΑ	ΤΣ	Α	ΗΕ	Θ	Υ	Θ	ΙΑ	Δ	ΜΒ	Θ	ΠΘ	ΑΘ	Α
Σ	Τ	Ε	ΙΚ	Θ	Θ	Θ	ΙΕ	Ε	Δ	Θ	ΙΚ	ΛΑ	Α
ΣΣ	ΕΥΑ	Ε	ΜΒ	Θ	Η	Θ	ΙΖ	Ε	ΙΚΕ	Θ	ΙΚ	Λ	Α
ΘΚ	ΕΠΗ	Σ	Θ	Θ	Ζ	Θ	ΙΗ	Ε	ΜΒ	Θ	ΙΚΑ	ΙΚΑ	Α
ΘΗ	ΕΠΒ	Σ	ΙΑ	Θ	Ε	Θ	ΙΗ	Ε	ΗΕ	Θ	ΙΚΑ	ΙΗ	Θ
ΠΑ	ΕΟΣ	Σ	ΙΚΑ	Θ	Γ	Θ	ΗΘ	Σ	Ε	Θ	ΙΚΕ	ΙΒ	Θ
Σ	ΕΘ	Σ	Λ	Θ	Λ	Θ	ΙΘ	Σ	ΙΒ	Θ	ΙΚΒ	Α	Α
ΓΓ	ΕΖΖ	Σ	ΑΑ	Θ	Α	Θ	ΙΚ	Σ	ΙΒ	Θ	ΙΚΓ	Θ	ΜΕ
ΓΣ	ΕΖΑ	Σ	ΑΒ	Θ	Β	Θ	ΙΚ	Σ	ΙΓ	Θ	ΙΚΓ	ΠΘ	ΑΒ
ΓΘ	ΕΖΑ	Σ	ΑΑ	Θ	Γ	Θ	ΙΚ	Σ	ΙΒ	Θ	ΙΚΑ	Κ	ΝΑ
ΡΒ	ΕΠΗ	Σ	Λ	Θ	Α	Θ	ΙΚΑ	Σ	ΙΒ	Θ	ΙΚΑ	Θ	Η
ΡΕ	ΕΠΕ	Σ	ΙΚΖ	Θ	Ε	Θ	ΙΚΑ	Σ	Θ	Θ	ΙΚΑ	ΙΑ	ΜΕ
ΡΗ	ΕΠΒ	Σ	ΙΚΓ	Θ	Σ	Θ	ΙΚ	Σ	Ε	Θ	ΙΚΕ	ΙΑ	ΙΚΑ
ΡΙΑ	ΕΜΘ	Σ	ΙΘ	Θ	Ζ	Θ	ΙΚ	Σ	Θ	Θ	ΙΚΕ	ΙΣ	ΗΗ
ΡΙΑ	ΕΜΣ	Σ	ΙΑ	Θ	Η	Θ	ΙΚ	Ε	ΝΕ	Θ	ΙΚΑ	ΙΘ	ΛΑ
ΡΙΖ	ΕΜΓ	Σ	Ζ	Θ	Θ	Θ	ΙΘ	Ε	ΜΗ	Θ	ΙΚΑ	ΙΚΒ	ΙΑ

Virheet tähtien paikoissa



Almagestin merkitys keskiajan ja uuden ajan alun Euroopassa

Antiikin kreikkalaisten tiedemiesten tekstejä (erit. Aristoteles, Ptolemaios) alettiin kääntää latinaksi 1100 – 1200 –luvulla

Aristoteles vähitellen tieteen auktoriteetiksi Euroopassa

Ensimmäinen Almagest-kääntäjä Gerhard Cremonalainen n. 1175

Matematiikka (liian) vaikeaa keskiajan eurooppalaisille oppineille

- Kommentaareja, lyhennelmiä, yksinkertaistuksia

Regiomontanus (1436 – 1467) *Epytoma in Almagestum Ptolemaei*

- Teos Kopernikuksen tärkein lähde hänen tutustuessaan Ptolemaioksen planeettaliikkeen malliin

Ptolemaioksen ja Almagestin perintö

Tähtitiedettä tarvitaan myös karttojen laatimiseen

- Leveys- ja pituusasteet; Tähtitieteellisillä havainnoilla saadaan leveysaste, mutta pituusaste vaikea (ks. seuraava kalvo)
- Pituuspiirin käsite Eratosthenes ja Hipparkhos, Ptolemaios käytti
- Ptolemaios sijoitti pituuspiirin nollakohdan Onnellisten saarille (Kanarian saaret, El Hierro (Ferro) ?), tunnetun maailman läntisin piste

Maailmankartta ulottui 180 astetta itään (Kiina), pohjoisessa n. leveysasteelle 63° (oecumene, *οικουμένη*, tunnettu maailma -> ekumenia). Pohjoinen alue arvausta, mutta Auringon näkyminen kuvattu oikein.

Osa kartoista myöhempää perua, mutta mitkä ovat Ptolemaiokselta?

- Kehitti myös karttaprojektioita



Pohjoisessa ei
Fennoskandiaa

Etelässä Afrikka taipuu
omituisesti itään; Intian
valtameri sisämeri.

Välimeri 30° liian pitkä,
samoin Aasia

Todellisia tarkkoja
havaintoja vähän

Karttaprojektio ja
koordinaatisto

Ptolemaioksen karttaprojektiot

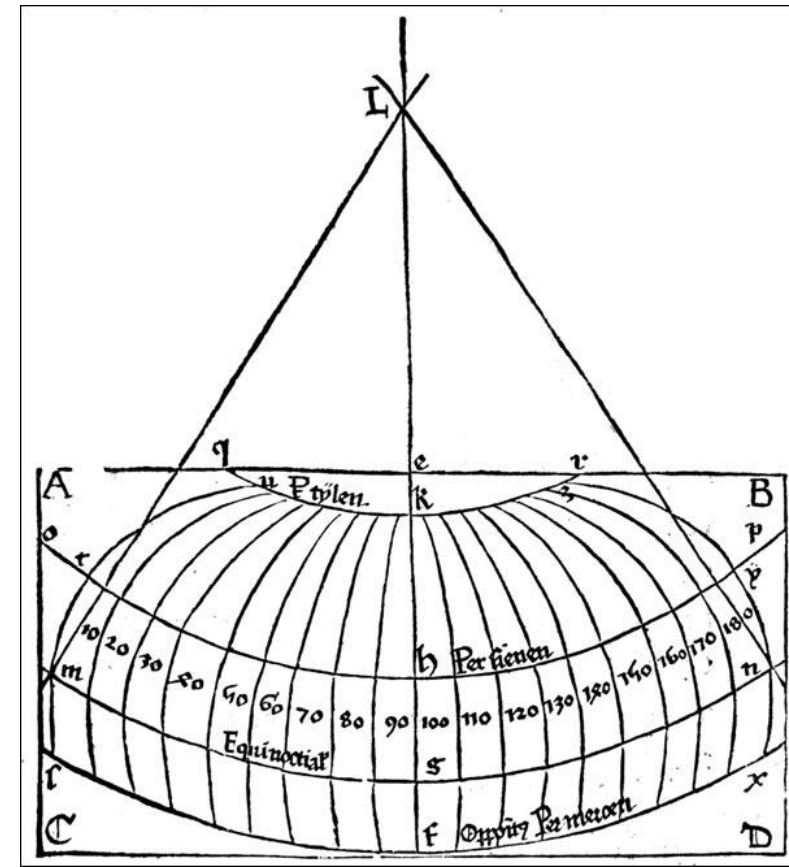
"Kartografia tarvitsee tähtitiedettä" → P:n Geografia on kartografiaa
Maantieteilijät kuvailevat asuttuja seutuja = korografiaa

Maa pallon muotoinen → karttaprojektiot

Ongelma: miten määrittää samalla pituuspiirillä olevat paikat? P. esittää periaatteet, mutta ei käytännön menetelmää (eikä olisi voinutkaan)

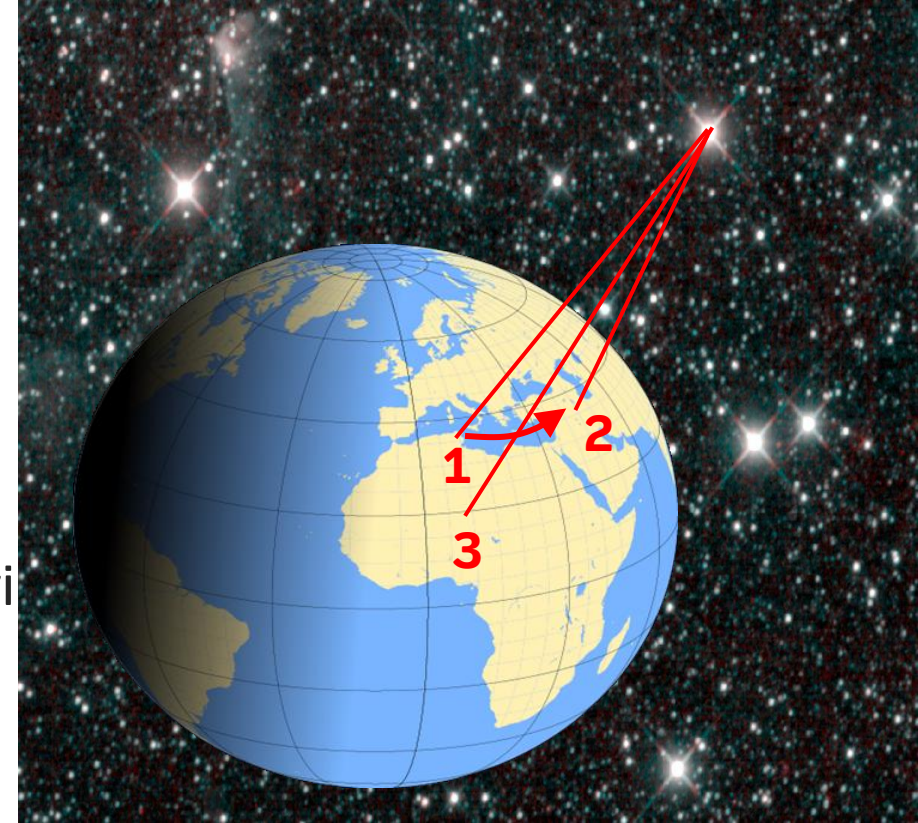
Pituusaste-eron määrittämiseen tarvitaan kahden paikkakunnan aikaero.

Pituusasteet huonosti tunnettu → kartat tarkempia pohjois-eteläsuunnassa kuin itä-länsisuunnassa (siis myös Geografiassa)



Pituusasteen ongelma

- Antiikin aikana ainoa keino pituusasteen(= aikaeron) määrittämiseen olivat kuunpimennykset (eikä sitäkään tiedetä käytetyn kuin ehkä yhden kerran)
- Gaugamelan taistelun edellä (331 eaa.) Karthagon ja Arbelan pituusaste-ero. Pituusaste-ero n. 11° liian suuri
- Välimeri arvioitu 30° liian pitkäksi, myös Aasia $40\text{--}50^\circ$ liian pitkä
- Lisäksi Maan koko arvioitu n. $1/3$ liian pieneksi (vrt. Eratosthenes!) -> tila loppuu... länessä Kiina tuli jo aika lähelle Eurooppaa
- Ptolemaiios käytti sellaisenaan näitä vääriä arvoja
- Vaikutuksia, mm. Kolumbus kuvitteli Kiinan olevan hyvin paljon lähempänä länessä kuin mitä se oli.
- Pituusasteongelma aina 1700-luvun lopulle saakka



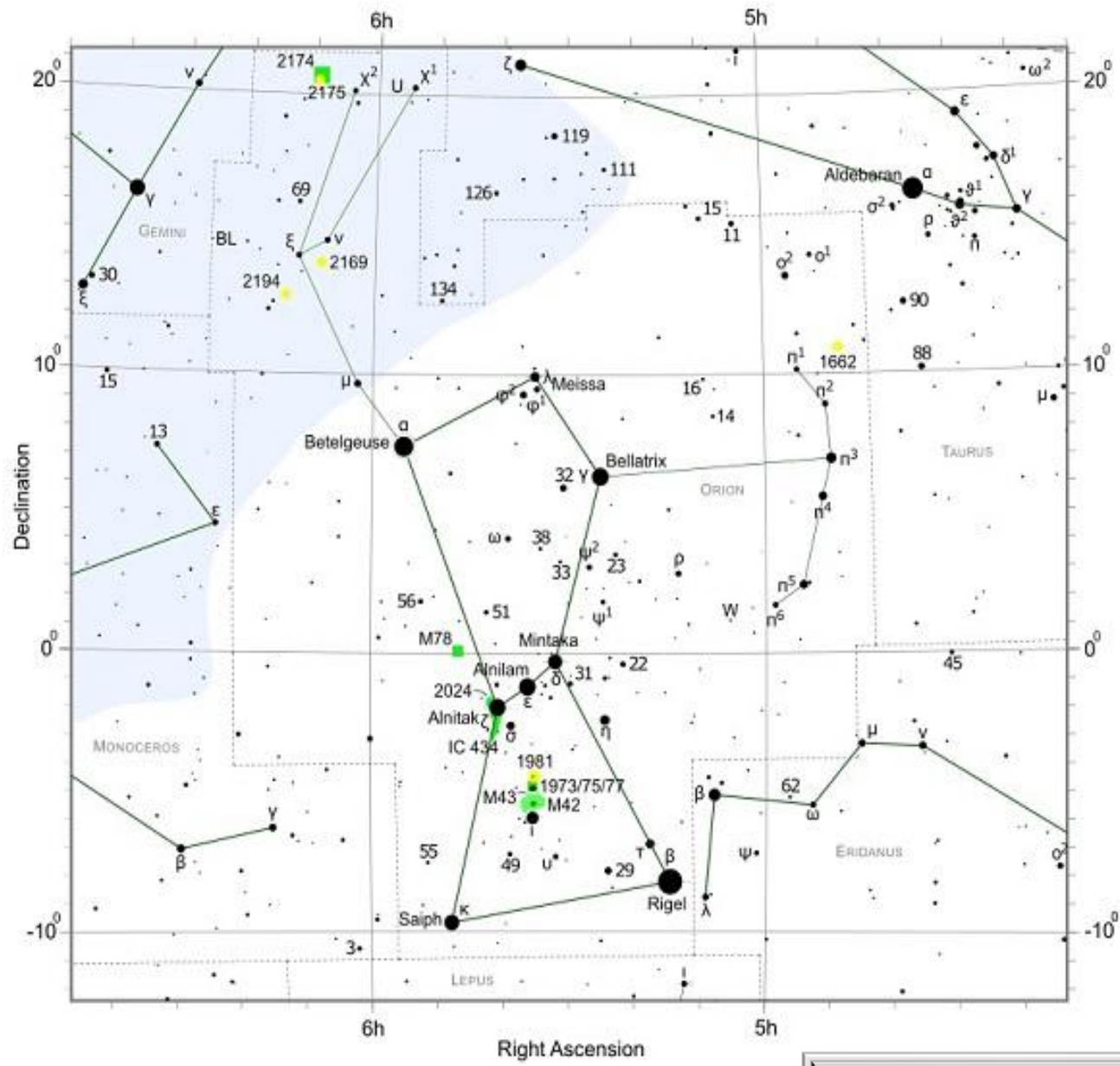
1 ja 3 ovat samalla pituusasteella, mutta leveysaste on eri. Tähti näkyy eri korkeudella paikassa 1 ja 3.

1 ja 2 ovat samalla leveysasteella, mutta eri pituusasteella. Tähti näkyy samalla korkeudella, mutta eri aikaan. Jos tämä aikaero voidaan mitata, saadaan paikkakuntien pituusaste-ero selville

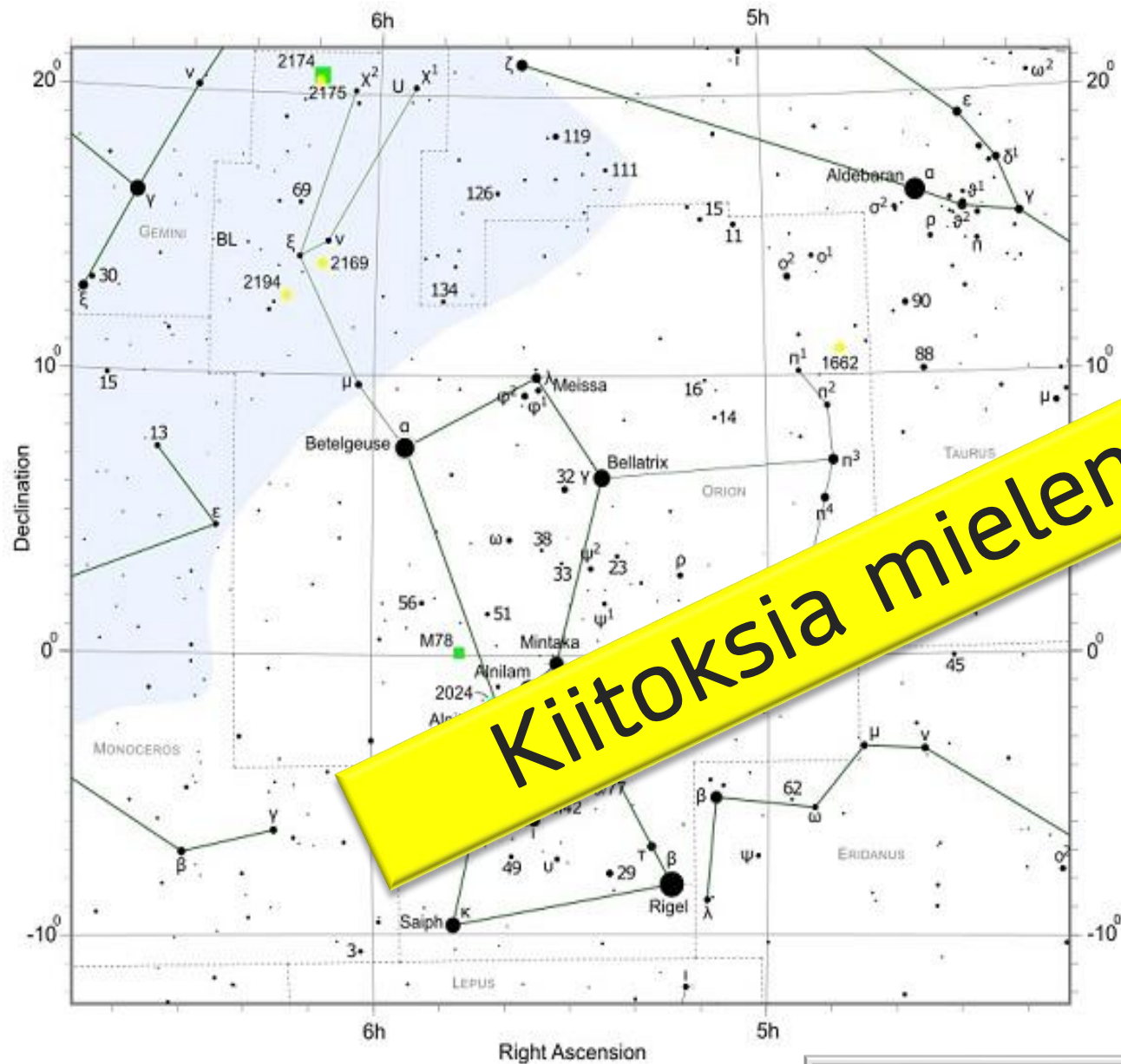
Ptolemaioksen perintö kartoissa

Nykyinen absurdi lukujärjestelmä ajassa ja karttojen koordinaateissa

- Mesopotamiasta peräisin 60-kantainen lukujärjestelmä
- Ptolemaios käytti sitä ykköstä pienemmille osille, esim. luku 149,5 on Ptolemaioksella CXLIX + 30/60
- Seksagesimaalijärjestelmää käytettiin kulmayksiköiden yhteydessä
- Kopioitiin sellaisenaan myös keskiajan eurooppalaisiin karttoihin, koska P. oli suuri auktoriteetti. Ja käytetään edelleen...
- Aika: Tunnit (0..24) – minuutit (0..60) – sekunnit (0..60), sekunnin desimaalit 10-kant.
- Kulma, pituus-a: asteet (0..360) – minuutit (0..60) – sekunnit (0..60), desimaalit 10-kant.
- Deklinaatio, leveys-a: asteet (-90..+90) – minuutit (0..60) – sekunnit (0..60), desim. 10-kant.
- Rektaskensio: kuten aika



14.37.52



14.40.45

