

3 Tähtitiedettä Ptolemaioksesta Galileihin

© 2022 Ilpo Halonen, ilpo.halonen@aalto.fi

KIRJALLISUUTTA

Gerholm, Tor Ragnar ja Sigvard Magnusson, *Ajatus, aate ja yhteiskunta. Länsimaisten aatteiden ja tieteitten, poliittisten ja yhteiskunnallisten järjestelmien vuorovaikutus antiikista nykyaikaan*, 2. painos, WSOY, Porvoo-Helsinki-Juva 1983.

Gregory, Andrew, *Eureka! The Birth of Science*, Icon Books, Cambridge 2001.

Joutsivuori, Timo ja Heikki Mikkeli (toim.), *Renessanssin tiede*, Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Tietolipas 167, Vammala 2000.

Lehti, Raimo, *Pallojen maailma. Tähtitiede ennen Kopernikusta*, Näyttelyluettelo, Helsingin yliopiston kirjasto 1984.

Lehti, Raimo, *Tanssi auringon ympäri. Kopernikus, Kepler ja aurinkokeskisen tähtitieteen synty*, Prometheus, Pohjoinen, Oulu 1989.

Lehti Raimo, *Tähtiä ja ihmisiä*, Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry, Helsinki 1996.

Lehti Raimo, *Leijonan häntä. Luoko tietoa luonto vai ihminen?*, Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry, Helsinki 2001.

Lehti Raimo, *Sfairopoia. Pallojen ja ympyröiden koneistot vanhalla ajalla*, Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry, Helsinki 2009.

Niiniluoto, Ilkka, *Johdatus tieteenfilosofiaan. Käsitteen- ja teorianmuodostus*, Otava, Helsinki 1980.

Rossi, Paolo, *Modernin tieteen synty Euroopassa*, Vastapaino, Tampere 2010.

Valtonen, Pekka, *Hullun keisarin hovissa. Alkemistejä, tähtitieteilijöitä ja taiteilijoita Rudolf II:n Prahassa*, Gaudeamus, Helsinki 2020.

3.1 Taustaa

Pythagoras

Platon:

- aikaisempi näkemys teoksessa *Valtio*
- myöhäisempi näkemys *Timaios*-dialogissa

Eudoksos (409 – 356 eKr): Samakeskisten pallonkuorien teoria

Matemaatikko ja tähtitieteilijä Eudoksos oli esittänyt jo 300-luvulla eKr. samakeskisten pallonkuorien teorian, jonka mukaan tähdet, planeetat, Aurinko ja Kuu on kiinnitetty Maata kiertäviin pallonkuoriin. Näiden kiertoliikkeiden sopivilla kombinaatioilla saadaan silmiinpistävimät

tähtitaivaan ilmiöt - mm. planeettain ajoittainen takautuva liike - kvalitatiivisesti selitetyksi. Teoriaa kehittäi edelleen mm. filosofi Aristoteles oman fysikaalisen näkemyksensä mukaisesti.' Teoriassa noudatettiin vaatimusta, jonka mukaan taivaankappaleiden liikkeen tulee olla joko ympyrää myöten tapahtuvia tasaisia kiertoliikkeitä tai tällaisten yhdistelmiä. Tasaisen kiertoliikkeen vaatimukselle oli filosofi Platon esittänyt esteettis-filosofisia ja Aristoteles fysikaalisia argumentteja. Aristoteleen "fysikaaliset lait" olivat tosin varsin epämääräisiä ja kelpasivat vain maailman tapahtumien sanallisiksi kuvailuiksi. Niihin pitäytyen saattoi yhtä hyvin argumentoida Maan paikallaan pysymisen puolesta, kuten Aristoteles teki, tai Maan liikkumisen puolesta, kuten myöhemmin Kopernikus teki. Tasaisen kiertoliikkeen vaatimus iskostui joka tapauksessa vuosisatojen kuluessa useimpien oppineiden mieleen epäilyn yläpuolelle nostetuksi perusolettamukseksi.

(Lehti 1989, 8.)

3.2 Aristoteleen kosmologia

1100-luvun alkupuolelle asti rajoittui latinalaisen Euroopan tähtitieteellinen tietous siihen, mitä roomalaisissa ja näihin perustuvissa keskiajan käsikirjoissa tähtitaivaasta kerrottiin. 1100-luvulla tilanne muuttui jyrkästi. Tällöin ruvettiin varsinkin Sisiliassa ja Espanjassa kääntämään kreikkalaisten kirjoittajien sekä näiden arabikommentaattorien teoksia latinankielelle. Tähtitieteen historian kannalta olivat varsinkin Aristoteleen kosmologisten teosten, Ptolemaioksen tähtitieteellisten teosten sekä näiden arabikommentaattorien teosten käännökset keskeisiä. [...]

Aristoteleen teoksissa on kreikkalainen "kahden pallon universumi" sijoitettu yhtenäisen kosmologisen ja metafyyssisen järjestelmän puitteisiin. Tämän kosmologian geometrinen perusnäkemys fysikaalista maailmaa rajoittavasta kiertävästä taivaanpallosta ja sen keskellä sijaitsevasta liikkumattomasta Maapallosta ei ole mitenkään leimallisesti aristoteelinen, vaan se esiintyy samanlaisena miltei kaikilla kreikkalaisilla tähtitieteilijöillä ja filosofeilla arviolta 400-luvun eKr. jälkeen. Aristoteleen oma ominainen lisäys tähän kosmologiaan oli se, että hänen mukaansa tämänkaltainen maailman rakenne oli perusteltavissa yleisten metafyyssisten ja fysikaalisten luonnonlakien välttämättömäksi seuraukseksi. Aristoteleen kosmologinen apriorismi puhkeaa täydellisimpänä esiin De caelo -teoksen 2. kirjan 3. luvussa. Tässä hän argumentoi seuraavasti:

Taivas on jumalallinen kappale, ja Jumalan ominaisuus on ikuinen elämä. Niinmuodoin taivaan täytyy olla ikuisessa ja samana pysyvässä liiketilassa ja tällainen on tasainen kiertoliike. Taivas koostuu siis materiasta, jonka luonnollinen liike on tasainen kiertoliike. Maailman kiertäessä pysyy kuitenkin sen keskipiste levossa, ja tämän takia täytyy maailman keskellä sijaita toisenlaista materiaa, nimittäin maata, joka keskuksessa sijaitessaan on luonnollisessa lepotilassa, ja joka muualla sijaitessaan liikkuu luontonsa mukaisesti kohti keskusta.

Keskusta kohti liikkuvan maa-aineen olemassaolosta seuraa sille vastakkaisen aineen, siis luontonsa mukaan keskuksesta pois päin liikkuvan tuli-aineen olemassaolo. Näiden kahden olemassaolosta vuorostaan seuraa, että täytyy olla olemassa kaksi niiden ominaisuuksia ”välittävillä” ominaisuuksilla varustettua ainetta, nimittäin vesi ja ilma. Kun nyt nämä neljä elementtiä ovat olemassa, aiheuttavat niiden toisilleen vastakkaiset ominaisuudet niiden sekoittumista, syntymistä, tuhoutumista ja muuttumista toisikseen. Kaikki liikkuminen ja yleisemmin muuttuminen tarvitsee kuitenkin jonkun toisen olion, joka aiheuttaa liikkumisen, ja perimmältään on kaikki fyysikaalisen maailman liikkuminen ja muutos peräisin ”ensimmäisestä liikkuvasta”, nimittäin kiertävästä tähtitaivaasta. Taivaanpallo ei kuitenkaan yhdellä tasaisella liikkeellään pysty aikaansaamaan elementtien maailman muutosten moninaisuutta. Tämän takia tarvitaan ylimmän taivaanpallon ja elementtien maailman väliin useita eri tavoin ja osittain vastakkaisiin suuntiin kiertyviä pallonkuoria, jotka muuntavat ylhäältä tulevan vaikutuksen tarpeeksi moninaiseksi, jotta se kykenisi ylläpitämään kaikkea maailmassa ilmenevää muuttumista.

Näin Aristoteles katsoi löytäneensä rationaalisen perustelun sille, miksi maailma on pallojen maailma. Se rakentuu keskellä olevasta elementtien maailmasta eli ”kuunalaisesta” maailmasta, jonka ainesosat ovat neljä elementtiä: maa, vesi, ilma ja tuli. Maa sijaitsee keskellä, ja sitä ympäröi vesi; nämä yhdessä muodostavat sen maantieteellisen kokonaisuuden, mitä kutsumme Maapalloksi. Tämän teorian mukaan pitäisi oikeastaan maan olla kaikkialla veden peitossa; myöhemmin pohdiskeltiin paljon aiheesta, miksi asia ei ole näin, ja kuivan maan olemassaololle esitettiin erilaisia teologisia, astrologisia ym. perusteluja. Maan ja veden ympärillä sijaitsevat kahtena pallonkuorena ”kaasumaiset” aineet ilma ja tuli; viimeksimainittu ulottuu Kuun pallonkuoreen asti. Elementtien maailman ympärillä kiertää ”viidennestä alkuaineesta” eli eetteristä muodostuneita pallonkuoria. Kaikkea maailman tapahtumista ylläpitää ylimmän pallonkuoren liike, joka keskusta kohti välittyessään saa yhä moninaisempia muotoja.

Aristoteleen mukaan maailma ei ainoastaan tosiasiallisesti ole tällainen pallojen maailma, vaan sen täytyy olla sellainen. Muunkaltaisen maailman olemassaolo on suorastaan käsitteellinen mahdottomuus. Aristoteleen kosmologia on siis hyvin determinististä ja aprioristista. Tämän aristotelismin piirteiden hyväksyi arabikommentaattori Averroes. Kristillisessä Euroopassa näkemys logiikan lakeihin verrattavissa olevien luonnonlakien yksikäsitteisellä tavalla määräämästä maailmasta herätti vastustusta. Sen mukaan ei Jumalan hallinnalle eikä ihmisen vapaalle tahdolle ole maailmassa sijaa, vaan kaikki tapahtuu, kuten sen on pakko tapahtua. Lisäksi Aristoteles katsoi johtaneensa maailman välttämättömiksi ominaisuuksiksi sellaisia ominaisuuksia, esimerkiksi syntymättömyyden ja iankaikkisen samana pysyvyyden, jotka olivat Raamatun vastaisia.

(Lehti 1984, luku 3, 15 – 17.)

3.3. Ptolemaioksen maailmanjärjestelmä

Episykliteoriat

Samakeskisten pallonkuorien teoriassa todettiin pian eräs heikkous: sen mukaan taivaankappaleet ovat aina samalla etäisyydellä Maasta. Monet ilmiöt, esim. planeettojen Mars ja Venus kirkkauksien vaihtelut sekä auringonpimennysten aikana ilmenevät Kuun ja Auringon näennäisten läpimittojen vaihtelut, osoittivat, että näin ei asia ollut. Aristoteleen jälkeen kehittivätkin eräät kreikkalaiset astronomit teorioita, joiden mukaan planeetat suorittavat tasaisista ympyräliikkeistä yhdistelemällä saatua liikettä eli *episykliliikettä*. Tällöin niiden etäisyydet Maasta vaihtelevat.

(Lehti 1989, 8.)

Ptolemaioksen Almagest

Kreikkalainen matemaattinen tähtitiede saavutti huippunsa vasta toisella vuosisadalla jKr. Tällöin kirjoitti Klaudios Ptolemaios suuren tähtitieteellisen käsikirjansa ”Mathematike Syntaksis”, joka arabiankielisenä Almagest-teoksena opittiin tuntemaan Euroopassa 1100-luvulla. ...

... Paras näistä liikemalleista on *ekvanttiliike*, jota Ptolemaios käytti aina kuvaillessaan episyklin keskipisteen liikettä deferenttiympyrän kehällä. Tällöin liike tapahtuu siten, että liikkuvan pisteen kulmanopeus ympyrän keskipisteestä poikkeavan *ekvantti*-pisteen suhteen on vakio. Maa ei myöskään sijaitse deferenttiympyrän keskipisteessä vaan siten, että ympyrän keskipiste puolittaa janan Maa-ekvantti. Ekvanttiliike on erittäin hyvä approksimaatio Kepler-liikkeelle. ...

On esitetty monia mielipiteitä siitä, missä määrin Ptolemaios itse tai hänen seuraajansa pitivät hänen teoriaansa taivaankappaleiden oikeiden liikkeiden kuvailuna, ja missä määrin ne tulkittiin vain planeettain havaittujen asemien ennustamisen matemaattisiksi apuvälineiksi. Luonnonfilosofisesta perspektiivistä asioita tarkastelevat henkilöt katsoivat usein, että Ptolemaioksen matemaattiset konstruktiot jättivät maailmankaikkeuden todellista rakennetta ja planeettain liikkeiden syitä koskevat kysymykset ratkaisemattomiksi.

(Lehti 1989, 10 – 12.)

Realismi vs. instrumentalismi

Platon asetti aikansa tähtitieteilijöiden tehtäväksi löytää joukon geometrisia oletuksia, jotka ”palauttaisivat” taivaankappaleiden liikkeet tasaisiksi ympyräliikkeiksi. Tämä *ilmiöiden pelastamisen* periaate tuli 2000 vuoden ajaksi tähtitieteellisen teorianmuodostuksen ideaaliksi. Eudoksos (409 – 356 eKr.) esitti ”samankeskisten pallojen” teoriassaan, että taivaankappaleet kiertävät maata tasaisella

nopeudella ympyröitä pitkin, jotka sijaitsevat maakeskisten pallojen kuorilla. Tämän matemaattisen hypoteesin avulla voitiin laskea ja ennustaa planeettojen havaittavia liikkeitä. Aristoteles omaksui Eudoksoksen teorian mutta antoi samalla sille realistisen tulkinnan olettamalla, että siinä puheena olevat pallot ovat aineellisia kristallikuoria. Geminus (1. vuosisadalla eKr.) teki eron fysikaalisesti toden tai epätoden hypoteesin ja pelkästään ilmiöiden ”pelastamiseksi” esitetyn hypoteesin välillä – edellinen edustaa teorian *realistista* ja jälkimmäinen teorian *instrumentalistista* tulkintaa. Geminuksen mukaan antiikin kreikkalaiset yleensä tulkitsivat fysiikan teorat realismin mukaisesti ja tähtitieteen teorat instrumentalismien mukaisesti. Tätä näkemystä kannattivat monet Ptolemaioksen seuraajat keskiajalla sekä mm. Tuomas Akvinolainen. Arabifilosofi Averroes puolusti realismia myös fysiikan (?) suhteen, kun taas eräät varhaisrenessanssin ajattelijat vaativat instrumentalismien ulottamista myös fysiikkaan. Uuden ajan luonnontieteen synty Nikolaus Kopernikuksen, Giordano Brunon, Tyko Brahen, Johannes Keplerin ja Galileo Galilein toimesta merkitsi samalla tieteellisen realismin voittokulkua. Kopernikus esitti aurinkokeskeisen järjestelmän fysikaalista todellisuutta koskevana teoriana, mutta Osianderin kirjoittamassa Kopernikuksen pääteoksen esipuheessa v. 1543 tämä teoria esitettiin pelkkänä laskutekniikkana taivaankappalten näennäisten liikkeiden ”pelastamiseksi”. Kuten kardinaali Bellarmine totesi Galileille v. 1615, katolinen kirkko salli Kopernikuksen opin opettamisen ja soveltamisen mm. kalenterin laskemiseen – kunhan ei vain erehdytty väittämään sen esittävän fysikaalista todellisuutta.

(Niiniluoto 1980, 228-229.)

Ptolemaioksen Almagest-teoksen sisältö

Viisi pallotähtitieteellistä hypoteesia:

1. Taivaankansi on pallonmuotoinen ja pyörii ympäri kuten pallo.
2. Havainnot osoittavat, että suuressa mittakaavassa tarkasteltuna Maakin on pallonmuotoinen.
3. Maa sijaitsee taivaanpallon keskuksessa.
4. Kiintotähtien pallonkuori ja Maan etäisyys siitä ovat niin suuria, että suuruudeltaan Maa suhtautuu niihin pisteen tavoin.
5. Maalla ei ole minkäänlaista paikan muutosta aiheuttavaa liikettä.

Ptolemaioksen malli planeettaliikkeelle

Ptolemaioksen maailmanjärjestelmä

Almagestissa annetaan kaikki faktuaaliset tiedot yhtenäisen maailmanjärjestelmän konstruoimiseksi. Itse järjestelmän Ptolemaios esittelee vasta myöhemmässä *Planeettahypoteesit* -teoksessa. Teos on säilynyt osittain kreikankielisenä, osittain arabiankielisenä versiona. Latinalaisessa

Euroopassa ei teosta keskiajalla tunnettu, mutta teoksessa esitelty maailmanjärjestelmä tunnettiin arabitähdistieteilijöiden teosten perusteella.

Järjestelmän perusidea on seuraava: Jokaisen planeetan liikemalli määrää sen Maasta luetun pienimmän etäisyyden ja suurimman etäisyyden suhteen. Kuvitelkaamme, että kullekin planeetalle on varattu juuri sen kokoinen pallonkuori, jonka sisässä planeetta mahtuu liikemekanismsinsa mukaisesti liikkumaan. Tällöin nämä pallonkuoret voi sijoittaa sisäkkäin, jolloin sisimmän pallonkuoren koko määrää koko systeemin koon. Näin konstruoitua sisäkkäisten pallonkuorien systeemiä kutsutaan *ptolemaiolaiseksi maailmanjärjestelmäksi*.

Planeettahypoteeseissa esitetyn teorian mukaan taivaanalue eli eetteri jakautuu siis kiinteisiin pallonpintojen rajoittamiin kappaleisiin. Jokainen näistä palloista pyörii jonkinlaisen 'sisäsyntyisen' tasaisen kiertoliikkeen pyörittämänä. Tällöin se liikuu vapaasti itseään ympäröivän pallonkuoren sisällä.

Isidorus Sevillalainen kirjoittaa ensyklopediassaan tähtitieteen opettajista seuraavaa:

"Molemmilla [= kreikan ja latinan] kielillä on eri kirjoittajien kirjoittamia teoksia astronomiasta. Kirjoittajista katsotaan Ptolemaios, Aleksandrian kuningas, kreikkalaisten joukossa ensimmäiseksi. Hän esitti myös säännöt, joiden avulla saa selville tähtien kulun".

Muu on tässä oikein, mutta tähtitieteilijä Ptolemaios ei kuulunut Ptolemaiosten hallitsijasukuun, eikä ollut Aleksandrian kuningas. Isidoruksesta alkaen kuviteltiin kuitenkin satojen vuosien ajan, että asia olisi näin. Tämän takia Ptolemaios kuvattiin säännöllisesti kruunupäiseksi; tällaisen kuvallisen esityksen löydämme luettelon takakannesta.

Syvemässä historiallisessa merkityksessä ei Ptolemaiosta kruunattaessa ole tapahtunut virhettä. On aivan oikein kutsua häntä "astronomien ruhtinaaksi", ja kruununsa hän on ansainnut paremmin kuin useimmat valtakuntien hallitsijat. Ptolemaioksen tähtitieteellinen pääteos on vaikuttanut historian kulkuun arvaamattomalla painolla. Klaudios Ptolemaios eli toisella vuosisadalla jKr. ja kirjoitti pääteoksensa Megale syntaksis vuoden 150 vaiheilla. Teos tunnetaan parhaiten arabiankielisellä Almagest-nimellä, jota nimeä tässäkin käytämme. Almagestin lisäksi Ptolemaios kirjoitti useita muita teoksia, joista yhteen palataan luvussa 10.

Almagest on laaja ja tänäkin päivänä lukijalleen suuret vaatimukset asettava teos. Se sisältää 13 kirjaa, jotka käsittelevät seuraavia aiheita:

1. kirja: Yleisiä oletuksia Maan ja taivaan pallonmuotoisuudesta. Maan liikkumattomuudesta ja sen keskeisestä sijainnista. Tähtitieteen tarvitsemia trigonometrisia apuvälineitä.
2. kirja: Taivaanpallon ympyröistä ja näiden avulla määritellyistä kaarista. Päivän pituudesta Maapallon eri osissa.
3. kirja: Vuoden ja vuodenaikojen pituudet. Auringon liikkeen teoria.
4. kirja: Kuun liikkeen teoria.
5. kirja: Jatkoa Kuun liikkeen teoriaan. Kuun ja Auringon etäisyyksistä.
6. kirja: Auringon ja Kuun pimennyksistä.
7. kirja: Kiintotähtien taivas ja prekessioliike. Alkuosa tähtiluettelosta.

8. kirja: Tähtiluettelon loppupuoli. Linnunrata. Materiaalisen taivaanpallon konstruoimisesta. 9. kirja: Planeettaliikkeen yleisistä periaatteista. Merkuriuksen liike.
 10. kirja: Venuksen ja Marsin liike.
 11. kirja: Jupiterin ja Saturnuksen liike.
 12. kirja: Planeettaliikkeen erityisistä ilmiöistä (stationaariset pisteet, takautuvan liikkeen kaaret ym.)
 13. kirja: Planeettojen poikkeaminen eläinradasta. Ratojen kaltevuudet.
 (Lehti 1984, 39.)

Eroja Aristoteleen ja Ptolemaioksen välillä

- Aristoteleen argumentit Maan keskeisestä sijainnista liittyvät ajatukseen luonnollisista paikoista ja liikkeistä.
- Ptolemaios ei vetoa mihinkään luonnonfilosofiaan vaan havaintoihin yhdessä pallotähtitieteellisten oppien kanssa.

Ptolemaios kritisoi

- Aristoteleen liikkumatonta liikuttajaa
- koko Aristoteleen tiedon järjestelmää
- Ensin arabimaissa ja sitten latinalaisessa Euroopassa tehtiin useita yrityksiä ratkaista Aristoteleen ja Ptolemaioksen maailmansysteemien ristiriita.
- Tuomas Akvinolainen hyväksyy oikeiksi Aristoteleen luonnonfilosofiset periaatteet ja yrittää myös ymmärtää Ptolemaioksen systeemiä.

Litteän maan myytti

Ptolemaioksen mallissa maa oli pyöreä. Mutta:

”...monet hyvin koulutetut ihmiset (jopa teologit) uskovat keskiajan kirkonmiesten opettaneen maan olevan litteä, vaikka historiallinen tutkimus puhuu keskiajan käsityksistä aivan muuta. Populaarissa ajattelussa Kolumbuksenkin matkojen oletetaan kohdanneen vastustusta kirkon taholta siksi, että hänen pelättiin putoavan alas maan reunalta. Joidenkin versioiden mukaan keskiajalla saattoi joutua jopa roviolle, jos uskoi pyöreään maahan.”

Ks. tarkemmin Kojonen, Rope, ” Litteän maan myytti – tapauskertomus uskonnon ja luonnontieteen historiasta”, *Tieteessä tapahtuu* 3/2011, myös internet-osoitteessa <http://ojs.tsv.fi/index.php/tt/issue/view/668>.

3.4 Kohti modernia tiedettä

Seuraavassa on lueteltu syitä, joita on esitetty tukemaan teesiä, jonka mukaan keskiajan tieteellisen tradition ja modernin tieteen välillä ei ole jatkuvuutta. Nämä teesit oikeuttavat myös käyttämään sellaista termiä kuin ”tieteellinen vallankumous”.

1. Se luonto, josta uuden ajan tiedemiehet puhuvat, on täysin eri asia kuin keskiajan filosofien tarkoittama luonto. Toisin kuin perinteisesti, uuden ajan tiedemiesten luonnossa ei luonnollisten kappaleiden ja keinotekoisien kappaleiden olemusten välillä ole eroa.
2. Modernit tiedemiehet tutkivat luontoa keinotekoisissa olosuhteissa. Kokemus, josta aristoteelikot puhuvat, turvautuu arkipäivän maailmaan hakiessaan esimerkkejä tai valaistessaan teorioita. Modernien tiedemiesten ”kokemukset” ovat keinotekoisesti rakennettuja *kokeita*, joiden avulla teoriat voidaan osoittaa oikeiksi tai vääriksi.
3. Uudella ajalla tieteellinen tieto on kuin uuden mantereen tutkimusta, keskiajalla kyse oli pikemminkin ongelmien kärsivällisestä luotaamisesta tarkkaan määrättyjen sääntöjen mukaan.
4. Modernien tiedemiesten silmissä skolastikkojen tietämyksen perusteella ei kyetty tutkimaan luontoa, vaan ainoastaan esittämään itselleen kysymyksiä, joiden vastaukset olivat *aina* tyydyttäviä. Siinä traditiossa oli sijaa opettajalle ja oppilaalle, muttei keksijälle.
5. Modernien tiedemiesten, ennen muuta Galilein toiminnassa oli ”estottomuutta” ja ”metodologista opportunistia” jotka olivat keskiaikaisessa traditiossa täysin tuntemattomia (Rossi 1989: 111-113). Keskiaikainen ehdottoman täsmällisyyden vaatimus pikemminkin haittasi kuin edisti matemaattisen luonnontieteen syntyä. Galilei keksi yhä tarkempia mittausjärjestelmiä, mutta ”siirsi huomion ihanteellisesta tarkkuudesta päämäärän edellyttämään tarkkuuteen, joka oli mahdollista saavuttaa käytettävissä olevin välinein [...] ehdottoman tarkkuuden myytti oli yksi niistä tekijöistä, jotka estivät 1300-luvun ajattelijoita siirtymästä abstrakteista laskutoimituksista luonnonilmiöiden todelliseen kvantitatiiviseen tutkimukseen” (Bianchi 1990: 150).

(Rossi 2010, 19-20.)

Esteitä kehitykselle

Monista vanhoista käsityksistä oli vaivalloista irtautua. Seuraavat kolme modernin tieteen täysin hylkäämää käsitystä ovat satunnaisiin empiirisiin huomioihin perustuvia ”yleistyksiä”:

1. Kappaleet putoavat, koska ne ovat painavia ja pyrkivät toisin sanoen *luonnolliseen paikkaansa*, joka sijaitsee maailmankaikkeuden keskellä. Niissä itsessään on siis liikkeen periaate ja ne putoavat sitä nopeammin mitä painavampia ne ovat. Putoamisnopeus on suoraan verrannollinen painoon: jos samanaikaisesti pudotetaan kaksi palloa, joista toinen painaa kilon ja toinen kaksi kiloa, jälkimmäinen tulee maahan ensimmäisenä ja kilon painoinen käyttää putoamiseen kaksi kertaa niin paljon aikaa.
2. Väliaine, jossa kappale liikkuu, on liikeilmiön olennainen elementti, joka on välttämätöntä ottaa huomioon raskaiden kappaleiden nopeutta määriteltäessä. Yleisesti otaksuttiin, että vapaasti putoavan kappaleen nopeus (joka oli suoraan verrannollinen kappaleen painoon) olisi kääntäen verrannollinen väliaineen tiheyteen. Tyhjiössä, toisin sanoen ympäristössä, josta tiheys puuttuu, liikkeen uskottiin tapahtuvan välittömästi, siis äärettömän nopeasti, niin että kappale oli monessa paikassa samanaikaisesti. Nämä kaikki olivat erinomaisia argumentteja tyhjiön olemassaoloa vastaan.
3. Koska kaikkea liikkuvaa liikuttaa jokin toinen (*omne quod movetur ab alio movetur*), kappaleen pakon alaisen liikkeen aiheuttaa siihen kohdistuva voima. Liike edellyttää liikuttajaa (*motor*), joka myös pitää sen liikkeessä niin kauan kuin liike kestää. Lepotilan jatkumiseen ei sen sijaan tarvita mitään selitystä, sillä lepo on kappaleiden luonnollinen tila. Liike (kaikenlainen liike, niin luonnollinen kuin pakon alainenkin) on jotain luonnotonta ja väliaikaista (tästä ovat poikkeuksina taivaiden "täydelliset" ympyräliikkeet), joka lakkaa heti kun voimaa ei enää käytetä, ja liike on sitä nopeampaa mitä suurempi on käytetty voima. Jos käytetty voima on sama, liike on sitä hitaampaa mitä suurempi on paino. Kun voimankäyttö lakkaa, lakkaa myös liike: *cessante causa, cessat effectus*; kun hevonen pysähtyy, myös karrut pysähtyvät.

(Rossi 2010, 27-28.)

Vahvasti yksinkertaistaen on mahdollista koettaa luetella ne käsitykset, jotka oli osoitettava vääriksi ja hylättävä, jotta voitaisiin luoda uusi tähtitiede:

1. Periaatteellinen ero taivaan fysiikan ja maan fysiikan välillä. Tämä oli seurausta maailmankaikkeuden jakamisesta kahteen piiriin, joista toinen oli täydellinen ja toinen muutosten alainen.
2. Ensimmäisestä kohdasta seuraava varmuus siitä, että taivaan liikkeet ovat välttämättä kiertoliikkeitä.
3. Käsitys maan liikkumattomuudesta ja sen keskeisestä asemasta maailmankaikkeudessa. Tätä näkemystä perusteltiin koko joukolla argumentteja, joita näytti olevan mahdotonta kumota (jos maa liikkuisi, esineet ja eläimet sinkoutuisivat ilmaan) ja joille löytyi perusta myös Raamatusta.

4. Usko maailmankaikkeuden rajallisuuteen ja suljettuun maailmaan. Tämä näkemys liittyi oppiin luonnollisista paikoista.
5. Luonnollisten ja väkivaltaisten liikkeiden välillä tehtyyn eroon läheisesti liittyvä käsitys, jonka mukaan kappaleen lepotilaa ei tarvitse perustella millään syyllä, kun taas jokainen liike on selitettävä joko kappaleen muodon tai sen luonteen perusteella tai liikkeen aiheuttavasta ja säilyttävästä liikuttajasta johtuvaksi.
6. Jatkuvasti vahvistunut ero tähtitieteen matemaattisten oletusten ja fysiikan välillä.

Noin sadan vuoden aikana, suunnilleen vuosina 1610-1710, kukin näistä käsityksistä oli keskustelun ja kritiikin kohteena ja jokainen niistä hylättiin.

(Rossi 2010, 32-33.)

Renessanssin tiede ?

Teemoja (ks. tarkemmin Joutsivuo et al. 2000.)

- Renessanssihumanismi?
- Kirjapainotaito
- Amerikan löytäminen
- Tieto ja usko, tiede ja uskonto

3.5 Kopernikaaninen vallankumous ?

Nikolaus Kopernikus (1473 – 1543)

- Nikolaus Kopernikus syntyi 19.2.1473 Preussin rajakaupungissa Thornissa
- opiskeli Krakovan yliopiston filosofisessa tiedekunnassa 1491 – 1494
- täydensi opintojaan Italiassa Bolognan ja Ferraran yliopistoissa 1496 – 1506.
- palasi v. 1506 Ermlantiin, jossa Frauenburgin tuomiokirkon kaniikin virkaa hoitaen vietti loppuelämänsä.
- vuosien 1510 – 1514 aikana kirjoitti *Commentariolus*-nimellä tunnetun selonteon, joka levisi käsikirjoituksena

Commentariolus

Kopernikus vakuuttaa lukijoilleen, että tähtitaivaan ilmiöt voi esittää tasaisten ympyräliikkeiden avulla, jos hyväksyy oikeiksi 7 perusolettamusta, joita voi pitää jonkinlaisena Kopernikuksen opin ohjelmanjulistuksena.

Maan keskeisen aseman poistaminen

Olettamus 1. "Kaikki taivaan kiertoliikkeet eivät tapahdu saman keskuksen ympäri".

Tämä oletus oli eksplisiittisesti Aristoteleen kosmologian vastainen. Aristoteles opetti, että kaikkien kiertoliikkeiden täytyy tapahtua saman keskuksen, nimittäin Maan, ympäri. Kopernikuksen mukaan planeetat kiersivät Aurinkoa, mutta Kuu Maata, joten se oli samakeskisyyden periaatteen vastainen. Tällaista asiointilaa pitivät aristoteelikot luonnon järjestystä rikkovana. Kun Galilei miltei 100 vuotta myöhemmin keksi Jupiterin kuut, niin tämä keksintö katsottiin juuri siinä mielessä Kopernikuksen järjestelmää tukevaksi, että se osoitti samakeskisyyden vaatimuksen olevan maailmassa todella vallitsevan olotilan vastainen.

Olettamus 2: "Maan keskipiste ei ole maailman keskipiste, vaan ainoastaan painovoiman ja Kuun piirin keskipiste".

Tällä väitteellään Kopernikus kielsi yhden Aristoteleen fysiikan perusopeista, nimittäin sen, että painovoima on kappaleissa asuva pyrkimys päästä luonnolliseen paikkaansa eli niiden olemukseen kuuluvalla etäisyydelle maailman keskipisteestä. Kopernikus väittää painovoiman liittyvän tavalla tai toisella Maahan eikä maailmankaikkeuden sentralisoituun rakenteeseen. Painovoiman ongelma näytteli tämän jälkeen keskeistä osaa maailman rakennetta koskevissa pohdiskeluissa. Isaac Newtonin gravitaatioteoria osoitti sen näyttelevän keskeistä osaa myös taivaankappaleiden liikkeitä selitettäessä.

Maan siirtäminen pois maailmankaikkeuden keskuksesta rikkoi myös Aristoteleen kosmologian varaan myöhemmin rakennettua teologista maailmankuvaa vastaan. Kopernikanismin tämän aspektin synnyttämää aatehistoriallista murrosta ei tässä kuvailla.

Aurinkokeskisyyys ja parallaksin ongelma

Olettamus 3. "Kaikki kiertoliikkeet tapahtuvat Auringon ympäri, joka sijaitsee yhtäläillä kaikkien keskellä; tämän vuoksi on maailman keskus lähellä Aurinkoa".

Tämä oletus osoittaa, että Kopernikus on omaksunut vanhan ajatuksen, jonka mukaan maailmankaikkeus on suljettu pallo, joten on mielekästä puhua maailman keskipisteestä. Kopernikuksen seuraajat hylkäsivät vähä vähältä tämän näkemyksen. Vähitellen muovautui keskiajan äärellisestä pallonkuorikosmoksesta meidän aikamme ääretön avaruus, jolla ei keskipistettä ole. Kopernikus pitäytyi tässä ja monessa muussakin kohdassa keskiajan ajatusrakennelmiin. Hän olisi varmaan järkyttynyt, jos olisi kyennyt arvaamaan, mihin maailmankatsomuksellisiin mullistuksiin hänen oppirakennelmansa tulee johtamaan.

Kun Kopernikus sanoo liikkeiden tapahtuvan "Auringon ympäri", niin hän tarkoittaa tällä ympäri kiertämistä kvalitatiivisessa mielessä. Hänen systeemissään Aurinko ei ole planeettain kiertoratojen geometrinen keskus, mutta sijaitsee tämän lähellä.

On problemaattista, onko uusplatonistinen Auringon merkityksestä filosofoiminen vaikuttanut Kopernikuksen systeemin aurinkokeskisyyteen.

Olettamus 4. "Maasta Aurinkoon luetun etäisyyden suhde tähtitaivaan läpimittaan on pienempi kuin Maapallon läpimitan suhde Maasta Aurinkoon luettuun etäisyyteen. Tämä etäisyys on siis mitättömän pieni tähtitaivaaseen verrattuna".

Tällaisen olettamuksen tekemiseen Kopernikus oli pakotettu siitä syystä, että jos Maan radan läpimitta olisi huomioon otettavan mittainen verrattuna "tähtitaivaan läpimittaan", ts. kiintotähtien etäisyyteen, niin Maan kiertoliikkeen pitäisi aiheuttaa havaittavia tähtien keskinäisen aseman muutoksia. Kopernikuksen ajan - ja paljon myöhemmänkin ajan - havaintotekniikan rajoissa ei tällaisia muutoksia havaittu. Sama probleemi oli vanhalla ajalla pakottanut jo Aristarkhoksen samaan ratkaisuun: olettamaan taivaanpallon paljon aikaisempia olettamuksia suuremmaksi. Kiintotähtien suhteellisten asemain muuttumattomuutta pidettiin jo varhain todistuksena aurinkokeskisen järjestelmän erheellisyydestä. Kopernikusta seurannut suuri havaitseva tähtitieteilijä Tyko Brahe hylkäsi aurinkokeskisen opin mm. tästä syystä.

Maapallon kiertoliikkeen aiheuttama tähtien havaittujen asemien heilahtelu varmistettiin reaalisesti vasta v. 1838 (F. W. Bessel ja muut). Ilmiötä kutsutaan tähtien vuotuisiksi parallaksiksi. Että parallaksia ei havaittu aikaisemmin ja että tänäkin päivänä parallaksin voi havaita suhteellisesti ottaen vain mitättömän harvoille tähdille, johtuu juuri Kopernikuksen ilmoittamasta syystä: tähtien suuresta etäisyydestä.

Maapallon liikkeen perspektiiviset vaikutukset

Kopernikuksen 3 viimeistä olettamusta koskivat niitä perspektiivisiä seurausilmiöitä, mitä Maan liikkuminen aiheuttaa Maasta käsin havaittuun planeettaliikkeeseen.

Olettamus 5. "Tähtitaivaan näennäinen liike seuraa Maapallon liikkumisesta. Maapallo ja sitä lähinnä sijaitsevat elementit kiertyvät vuorokaudessa Maan muuttumattomien napojen ympäri, kun taas tähtitaivas ja ulommainen taivas ovat levossa".

Kopernikus selittää siis aivan oikein tähtien vuorokautisen nousun ja laskun seuraavan Maan pyörimisestä akselinsa ympäri. Kopernikus lisää, että Maan ohella pyörivät myös "sitä lähinnä olevat elementit", ts. meret ja ilmakehä. Täten Kopernikus pyrkii kumoamaan väitteen, että jos Maa pyörisi lännestä itään, täytyisi Maan pintaa pyyhkiä myrskytuuli idästä länteen. Kysymys siitä, millä tavoin Maan pyörimisliike vaikuttaisi Maan pinnalla sijaitsevien kappaleiden

liikkeisiin, pysyi melko mielivaltaisiiin väitteisiin nojautuvan sanaharkan kohteena siihen asti, kunnes Galilei ja hänen seuraajansa kehittivät dynamiikan tieteeksi, joka pystyi antamaan kysymykselle perustellun vastauksen. Maapallon vuorokautisen pyörimisliikkeen aiheuttamia fysikaalisia probleemeja on käsitelty artikkelissa Lehti 4.

Olettamus 6. "Auringon näennäinen liike seuraa Maan liikkeestä, joka kuljettaa meitä Auringon ympäri kuten jokaista muutakin planeettaa. Maahan vaikuttaa siis useampia liikkeitä".

Ehkäpä kaikkein radikaalein sekä tiedehistoriallisesti ja aatehistoriallisesti mullistavin oli Kopernikuksen tyynesti kuin itsestään selvänä esittämä väite, että Maa liikkuu kuten muutkin planeetat. Jos ajatteleme kopernikanismin vaikutusta ihmisten elämän- ja maailmankäsitykseen, niin tässä lienee sen ydin. Kopernikuksen jälkeisen ajan ihmiset ovat vähitellen mukautuneet ajatukseen, että ihmiskunta elää taivaankappaleen pinnalla, ja tämä taivaankappale on yksi monista samankaltaisista. Tämä kopernikanismin aspekti: Maan muuttuminen "tähdeksi", oli se, jota sata vuotta myöhemmin Galileo Galilei erityisesti korosti.

Olettamuksen viimeisessä lauseessa Kopernikus viittaa siihen, että Maa suorittaa kahta eri liikettä: vuorokautista pyörimisliikettä oman akselinsa ympäri ja vuotuista kiertoliikettä Auringon ympäri. Aristoteelikkojen mielestä tällainen asiantila oli mahdoton. He katsoivat, että jokaisen elementin luonnollinen liiketila oli jokin "yksinkertainen" liike: joko yksinkertainen kiertoliike - kuten taivaankappaleiden - tai yksinkertainen liike keskipistettä kohti tai siitä poispäin, kuten maallisten alkuaineiden. Aristoteelikot pitivät järjettömänä, että Maa voisi suorittaa kahta eri liikettä yhtäaikaan. - Tämän tapaisessa argumentaatioissa paljastuu selvästi ristiriita toisaalta Aristoteleen fysiikan, toisaalta Ptolemaioksen tähtitieteen välillä. Ptolemaioksen tähtitieteessä taivaankappaleet eivät suinkaan suorittaneet yksinkertaista liikettä, vaan tällaisista yhdistelemällä saatua liikettä. Kun nyt Kopernikus ehdotti vastaavan kaltaista liiketilaa Maalle, niin aikaisemmin "matemaattisen hypoteesin" luonteen omanneet liikeopilliset konstruktioit rupesivat saamaan niin reaalisen fysikaalisen sisällön, että niiden ja Aristoteleen fysiikan välistä ristiriitaa ei enää voinut vaikenemalla sivuuttaa.

Olettamus 7. "Planeettain näennäiset kulkusuunnan vaihtelut eivät johdu niistä itsestään, vaan Maasta. Tämä liike jo yksinään selittää monet näennäiset tähtitaivaan epäsäännöllisyydet."

Planeettaliikkeen kinemaattisen teorian kannalta tämä olettamus sisältää kopernikanismin olennaisimman ja vakuuttavimmin perusteltavissa olevan uudistuksen. Episykliteorian ilmeisimmin turhat episyklit putoavat pois, kun aikaisemmin niiden avulla selitetty planeettain kiertoliikkeessä näkyvä vaihtelu ymmärretään Maan liiketilan seurausilmiöksi. Kopernikuksen teoriat seisoivat tai kaatuivat siitä riippuen, näkisivätkö tähtitieteilijät olettamuksesta seuraavan

yksinkertaistuksen niin merkittäväksi, että sen takia kannattaisi muutkin Kopernikuksen olettamukset hyväksyä, vaikka niistä monet tuntuivatkin terveeseen järjen, välittömän havainnon ja hyväksytyjen luonnonlakien vastaisina. (Itsekukin menkään itseensä ja tunnustakoon, että me pidämme Maan kiertoliikettä "luonnollisena" yksinomaan siitä syystä, että meille on lapsuudesta asti kerrottu sen olevan luonnollisen.) Kun Aristarkhos aikanaan oli esittänyt samanlaisia mielipiteitä, ne oli hylätty ja unohdettu. Tiedämme, että Kopernikuksella oli parempi onni, ja sen takia vietimme vuonna 1973 Kopernikuksen 500-vuotisjuhlaa, kun taas suunnilleen tämän kirjan ilmestymisen vaiheille sattuva Aristarkhoksen 2300-vuotisjuhla taitaa jäädä vaille huomiota. Tarkastelemme lyhyesti seuraavassa luvussa niitä tapahtumia, joiden ansiosta kopernikanismi selvisi miltei sata vuotta kestäneessä maailman rakennetta koskevassa kiistassa voittajaksi.

(Lehti 1989, 19 – 23.)

Vastaanotto

Nuori Georg Joachim Rheticus (1514-1576) julkaisi v. 1540 kuuluisan *Narratio Priman*, joka sisälsi selkeän esityksen kopernikaanisesta kosmologiasta. V. 1539 Luther viittasi ”pölvästiin”, joka väittää maan liikkuvan, joka aikoo mullistaa koko tähtitieteen ja puhuu vastoin Raamatun tekstiä.

De Revolutionibus Orbium Cœlestium Libri VI.

Commentariolus jäi käsikirjoitukseksi, mutta levisi useina kopioina. Lopullisen version teorioistaan Kopernikus esitti v. 1543 monumentaaliosessa teoksessaan *De Revolutionibus Orbium Cœlestium Libri VI.*

De Revolutionibus

Oli siis käynyt ilmeiseksi, että *Commentariolus* kaltaisen suppea esitys ei vakuuttaisi aikalaisia aurinkokeskisen opin ansioista. Jos Koperikus halusi saada aikalaisensa hyväksymään omat kosmologiset perusnäkemyksensä, hänen täytyi kirjoittaa näiden varaan rakentuva tähtitaivaan käsikirja, joka pystyisi kilpailemaan Ptolemaioksen *Almagestin* ja *Regiomontanuksen* sen pohjalta kirjoittaman käsikirjan kanssa.

Frauenburgilainen kaniikki ryhtyi tähän jättiläistyöhön osoittaen järkkymätöntä luottamusta oman perusnäkemyksensä totuuteen. Hän suoritti työnsä loppuun; luultavasti ei niin vakuuttavana eikä täydellisellä tavalla kuin oli työhön ryhtyessään kuvitellut, mutta suoritti kuitenkin. Vaikeudet olivat edelleen samat: Kopernikus nojautui liiaksi Ptolemaioksen teokseen, eikä hänen käsikirjansa niin muodoin merkinnyt olennaista edistysaskelta planeettain efemeridejä laskettaessa.

Työhön Kopernikus käytti koko jäljellä olevan elinaikansa, kolmisenkymmentä vuotta. Hänen monumentaalinen pääteoksensa

"De Revolutionibus Orbium Coelestium Libri VI" ("Kuusi kirjaa taivaan kehien kiertoliikkeestä") ilmestyi hänen kuolinvuotenaan 1543.

Kopernikuksen vaikealukuista ja matemaattisesti raskasta pääteosta ei tässä käydä kommentoimaan. Seuraavissa artikkeleissa palataan eräisiin sen keskeisiin oppisisältöihin. De Revolutionibus -teoksen kosmologiset ja fysikaaliset perusideat ovat samat kuin 30 vuotta aikaisemmin kirjoitetun Commentariolus-tekstin.

De Revolutionibus -teoksen ilmestyminen merkitsi, että Kopernikus oli kohottanut teoriansa Maan kiertoliikkeestä tasolle, jota Aristarkhos ei milloinkaan saavuttanut. Enää ei ollut kyseessä vain ylimalkainen ehdotus, vaan yksityiskohtainen matemaattinen teoria. Kopernikuksen aikalaiset ihailivat Kopernikuksen itsensä tavoin antiikin oppineiden saavutuksia, ja niin muodoin heihin vaikutti voimakkaasti se, että Koperikus oli kirjoittanut kirjan, jonka saattoi asettaa Ptolemaioksen Almagestin rinnalle, ja joka hyvin kesti vertailun sen kanssa.

Kopernikus itse kuoli teoksen ilmestymisvuonna, mutta teos oli jäänyt. Kysymys tähtitieteen kohtaloista oli siirtynyt seuraavan sukupolven harteille.

(Lehti 1989, 25.)

Tuon teoksen I kirjan luvussa 10 Kopernikus perustelee seuraavalla tavalla uudistustaan:

En tunne ketään, joka epäilisi, etteikö kiintotähtien taivas sijaitisi kaikkien näkyvien olioiden yläpuolella. Toteamme, että muinaiset filosofit halusivat asettaa planeettojen järjestyksen niiden kiertoaikojen pituuksien mukaiseksi siitä syystä, että samalla nopeudella liikkuvista kappaleista kauempana sijaitsevat näyttävät liikkuvan hitaammin, kuten Eukleides optiikassaan osoittaa. Niinpä he ajattelivat, että Kuu kiertää kehänsä ympäri lyhimässä ajassa, sillä koska se sijaitsee lähimpänä Maata, se kiertää pienintä ympyrää myöten. Vastaavasti he ajattelivat, että Saturnus, joka kiertää pisimmän kierroksensa pisimmässä ajassa, sijaitsee ylimpänä.

[...]

Tämän vuoksi ajattelen, että Martianus Capellan ja eräiden muiden latinalaisten kirjoittajien mielipiteitä ei saa syrjiä. Hän näet otaksuu Venuksen ja Merkuriuksen kiertävän Aurinkoa, joten ne eivät voi etäännyä siitä kehänsä kuperuuden sallimaa kaarta kauemmaksi, sillä Maa ei sijaitse niiden kehien sisäpuolella. Niinmuodoin Aurinko on niiden kehien keskus, ja Merkuriuksen kehä sijaitsee kokonaan yli kaksi kertaa sen suuruisen Venuksen kehän sisäpuolella. Kun tätä tilaisuutta käyttäen kohdistamme Saturnuksen, Jupiterin ja Marsin samaan keskipisteeseen - pitäen mielessämme, miten mahtavat ovat niiden kehät, joiden sisään jäävät sekä mainitut kaksi planeettaa että Maa – johdumme vääjämättä niiden kehien todelliseen järjestykseen.

[...]

Siispä emme epäröi väittää, että kaikki Kuun alapuolella sijaitseva, Maan keskus mukaan luettuna, kiertää muiden planeettain

muassa suurella kehällä ympäri Aurinkoa, joka on maailman keskus. Lisäksi väitämme, että Auringon näennäinen liike on todellisuudessa Maan liikettä. Maailma kuitenkin on niin suuri kooltaan, että välimatka Maasta Aurinkoon, vaikka onkin merkittävä verrattuna toisten planeettain kehiin, on häviävän pieni verrattuna kiintotähtien pallonkuoreen. Helpompaa on minusta myöntää tämä kuin sallia käsityskyvyn hämärtymistä miltei loputtoman ympyröiden vilskeen takia. Näin käy heidän, jotka pidättävät Maan maailman keskuksessa. Luonto ei viisauudessaan tuota mitään liiallista eikä turhaa, sen sijaan se usein saa yhdestä aiheesta aikaan monia seurauksia. Mikäli kaikki tämä on vaikeaa tai miltei käsittämätöntä tai vastoin monien mielipiteitä, niin aiomme Jumalan avulla selvittää sen päivääkin kirkkaammaksi ainakin matematiikkaa hieman taitaville. [...]

Sen takia me huomaamme, että kun asiat järjestää näin, tulee maailmankaikkeudesta ihmeellisen järjestelmällinen, ja kiertoaikojen ja kehien suuruuksien välillä vallitsee varma harmoninen yhteys, jota ei millään muulla tavoin saa näkymään. [...]

Kaikki nämä ilmiöt seuraavat samasta syystä, nimittäin Maan liikkumisesta.

Että kuitenkin vastaavaa ilmiötä ei esiinny kiintotähtien kohdalla todistaa sen puolesta, että ne ovat valtavan matkan päässä, mikä saa vuotuisen liikkeen ympyrän tai sen heijastuman katoamaan katseeltamme, sillä jokaista näkyvää oliota kohden on olemassa tietty etäisyys, jonka tuolta puolelta sitä ei enää näe, kuten optiikassa osoitetaan. Niiden valon välkehdintä osoittaa, että uloimman planeetan Saturnuksen ja kiintotähtien pallonkuoren välillä on hyvin pitkä välimatka. Tämä tunnusmerkki erityisesti erottaa ne planeetoista, sillä on asianmukaista, että liikkuvan ja liikkumattoman välillä on mahdollisimman suuri ero. Kuinka erinomainen onkaan Parhaan ja Suurimman rakentajan jumalallinen työ.

(*De Revolutionibus I, 10*)

Andreas Osiander

- Andreas Osiander (oik. Hosemann, 1498-1552), saksalainen teologi, uskonpuhdistaja ja luterilaisuuden puolustaja
- Osianderin esipuhe *De Revolutionibus* –teokseen
- Osiander liitti oma-aloitteisesti Kopernikuksen teokseen esipuheen, jossa hän vakuutti Maan liikettä koskevan hypoteesin olevan vain oletus, jolla ei tarvitse olla vastinetta todellisuudessa.

Osianderin kannanotot Maan liikkumiseen

Osiander, Kopernikus ja Rheticus olivat olleet jo ennen *De Revolutionibus* -teoksen painatusta kirjeenvaihdossa, joka on koskenut oppia Maan liikkumisesta. Prowe päättelee Osianderin vastauksista (*Prowe* 12 s. 521), että Kopernikus on tiedustellut, voiko Osianderin mielestä oppia Maan liikkumisesta esittää julkisesti vai pitäisikö se

säilyttää vihkiytyneiden salaisuutena (ottaen huomioon Commentariolus-kirjoituksen saaman huomion tämä tuntuu hieman myöhään syntyneeltä idealta). Osiander on vastannut, että tähtitieteelliset hypoteesit eivät ole uskonkappaleita, vaan tähtitieteellisten laskujen tarvitsemia perusteita. Niinpä ei ole tärkeää, ovatko ne tosia vai vääriä, kunhan niiden avulla voi oikein laskea taivaankappaleiden liikkeet. Osiander kehottaa Kopernikusta erityisesti mainitsemaan tästä asiasta teoksen esipuheessa; täten hän voisi rauhoittaa aristoteelikkoja ja teologeja. Osianderin ja Kopernikuksen kirjeenvaihto on ollut vielä Keplerin käytettävissä, mutta on sittemmin kadonnut.

Osiander kirjoittaa samasta aiheesta Rheticukselle seuraavasti (*Prowe* 12 s. 523): "Aristoteelikkoja ja teologeja on helppo tynnyttää kertomalla heille, että mainittujen liikkeiden selittämiseksi ovat monet hypoteesit mahdollisia ja että tiettyjä hypoteeseja ei esitetä sen takia, että ne olisivat kumoamattomia, vaan koska ne johtavat mukavimpiin laskuihin ilmiöiden ja yhdistettyjen liikkeiden esittämiseksi. On aina mahdollista sommitella vielä muitakin hypoteeseja. Vaikka joku olisikin hahmotellut varsin näppärän kuvion jonkin liikkeen selittämiseksi, voi joku toinen hautoa esiin vielä paremman. Tämä on kaikille sallittua, ja kun joku keksii soveliaampia selityspäätteitä, niin häntä tästä kiitelläänkin. Tämänkaltaisilla ennakoivilla huomautuksilla saisi vastustajat hiljalleen liukumaan ankarasta moitiskelusta pohdiskelun viettelyksiin, ensin lempeämmälle ja sopuisammalle mielelle, kunnes he yrittäytään turhaan keksiä jotain parempaa sitten helposti kokonaan antautuvat uudistajalle."

Kopernikus ei ilmeisesti hyväksynyt Osianderin ajatuksia, vaan kirjoitti teokseen toisenlaisen esipuheen, jota tarkastelemme seuraavissa pykälissä. On kiinnostavaa todeta, että jo ennen teoksen julkaisemista keskusteltiin eri henkilöiden kesken mahdollisuudesta liittää siihen ohjelmallinen tien tasoittajaksi tarkoitettu esipuhe. Kopernikuksen esipuhe ei kuitenkaan ilmeisesti tyydyttänyt Osianderia, vaan tämä käytti valitettavasti asemaansa teoksen painatuksen valvojana hyväkseen ja liitti *De Revolutionibus* -teokseen lukijalle osoitetun kirjeen, jossa hän terävämmin esitteli näkökantansa.

Osianderin alkulause on herättänyt laajalti tiedehistoriallista ja tieteenfilosofista keskustelua. Artikkelissa *Lehti* 1 on hieman valaistu Osianderin kannattamia tuolloin jo pitkän tradition omaavia käsityksiä senaikaisen tähtitieteen teorioiden totuusarvon problemaattisuudesta. Osianderin alkulauseesta ei selvästi ilmene, että se ei ole Kopernikuksen omaa tekstiä, vaikka sitä ei toisaalta myöskään yritetä sellaisena esittää. Aluksi teksti kuitenkin tulkittiin *De Revolutionibus* -teoksen olennaiseksi osaksi, vaikka se ei sovi yhteen sen enempää *De Revolutionibus* -teoksen kirjaimen ja hengen kuin Kopernikuksen itsensä paavi Paavalille omistaman esipuheenkaan kanssa. On selvää, että Kopernikus on esittänyt väitteen Maan liikkumisesta totuutena. Kun Kopernikuksen kirja aikanaan joutui kiellettyjen kirjojen luetteloon, siitä poistettiin juuri ne kohdat, joissa Kopernikus selvimmin julisti Maan liikkumisen todellisuutta.

Osianderin osuus alkulauseen kirjoittajana selvisi vasta myöhemmin. Tosin jo Kopernikuksen teoksen julkaisemisen aikoina protestoitiin Osianderin alkulausetta vastaan; näin teki mm. Tiedemann Giese. Tämä kirjoitti Rheticukselle voimakassanaisen kirjeen, missä hän kauhistelee Osianderin alkulausetta ja vaatii sen poistamista; kirje ei kuitenkaan johtanut toimenpiteisiin. - Keplerin jälkeen vasta Alexander von Humboldt torjui selvästi ajatuksen, että Kopernikus olisi esittänyt teoriansa vain laskuhypoteesina. Hän kertoo, että on väärä mutta yleisesti levinnyt näkemys, että Kopernikus olisi kirkollisen vainon pelosta esittänyt teoriansa vain laskuja helpottavana hypoteesina. Humboldtin mukaan "meidän nykyisen maailmansysteemimme perustaja oli rohkeudeltaan ja esiintymisensä varmuudelta miltei vielä erinomaisempi kuin tiedoiltaan".

(Lehti 1989, 68 – 69.)

Vastaanotto

V. 1546 dominikaani Giovanni Maria Tolosani: Kopernikuksen ajatukset rikkoivat "tieteiden alisteisuuden" keskeistä ja ehdotonta periaatetta vastaan: tieteistä ensimmäinen, teologia tarjoaa kosmologille kuvauksen maailmankaikkeuden fyysisestä rakenteesta, eikä mikään tiede voi olla ristiriidassa teologian kanssa.

(Ks. lisää Rossi, 105-110, Lehti 1989.)

3.6 Tyko Brahe (1546 – 1601)

- Tanskalainen Tyge Brahe latinalaisti nimensä Tychoksi
- Itseoppinut, opiskellut vähän Leipzigissa
- Kiinnostunut alkemiasta
- "Tyko ei niinkään ollut luonnonfilosofi kuin kärsivällinen ja äärettömän tarkka havainnoitsija, varmasti merkittävin, joka on tähtitieteessä koskaan tehnyt havainnoita paljaalla silmällä." (Rossi, 111.)
- Ensimmäiset havainnot 16-vuotiaana

Tyko Brahen systeemi:

- Maa on levossa universumin keskellä.
- Sitä kiertää 24 tunnissa kiintotähtien pallonkuori.
- Planeetat kiertävät Aurinkoa, mutta Aurinko Maata.
- Merkuriuksen ja Venuksen pallonkuoret leikkaavat Auringon pallonkuoren kahdessa kohdassa, mutta eivät ympäröi Maata.
- Myös Marsin pallonkuori leikkaa Auringon pallonkuoren kahdessa kohdassa, mutta ympäröi Maata.
- Jupiterin ja Saturnuksen pallonkuoret ympäröivät koko Auringon pallonkuoren.

Tycho Brahe - empiirisen astronomian uranuurtaja

Tycho Brahea voidaan pitää empiirisen astronomian uranuurtajana. Hän oli monella tavoin aikaansa edellä ja ajatteli oikeastaan tiedemiehenä radikaalisemmin kuin Kopernikus ja Kepler, vaikka ei koskaan omaksunut Kopernikuksen maailmankuvaa. Hän oli vakuuttunut, että kaikkeuden keskipisteen valinta oli täysin mielivaltaisen. Teorialta - olipa se aurinko- tai maakeskinen - oli oikeus vaatia vain, että se mahdollisimman tarkoin vastaa tähtitieteellisiä havaintoja.

Opiskellessaan Kööpenhaminan yliopistossa retoriikkaa ja filosofiaa Brahe näki 13-vuotiaana osittaisen auringonpimennyksen. Tosiasia, että pimennys tapahtui täsmälleen tähtitieteilijöiden ennustamana ajankohtana, teki nuoreen mieheen syvän vaikutuksen. Hänen mielestään ”oli jotakin jumalallista siinä, että ihminen tuntee tähtien liikkeet kyllin tarkasti kyetäkseen kauan ennakoita ilmoittamaan niiden asemat suhteessa Maahan ja toisiinsa”. Muutamien vuosien kuluttua hän kuitenkin joutui näkemään, että tiedoissa, joita ihmisellä oli taivaan ilmiöistä, oli vielä paljon toivomisen varaa. Yöllä 17.8.1563 hän totesi Saturnus- ja Jupiter-planeettojen olevan niin lähekkäin, että niitä tuskin saattoi erottaa toisistaan. Brahe tutki kirjallisuutta ja havaitsi, että kastilialaiset taulukot, jotka perustuivat Ptolemaioksen geosentrisen maailmankuvaan, tosin ennustivat tapauksen, mutta sijoittivat sen aivan väärään ajankohtaan. Poikkeama oli runsas kuukausi. Kopernikuksen heliosentrisen maailmankuvan pohjalla laaditut taulukot eivät osoittautuneet paljonkaan paremmiksi, sillä niissäkin virhe oli useita päiviä.

Tämä ristiriita - toisaalta ”miltei jumalallinen” tieto, joka ilmeni auringonpimennyksen tapahtumisena Kööpenhaminassa täsmälleen ennustettuna ajankohtana, ja toisaalta poikkeama todellisuudesta, joka paljastui Saturnuksen ja Jupiterin keskinäisessä asemassa elokuun 17. päivänä 1563 - muodostui ratkaisevaksi Tycho Brahen ja samalla koko astronomian - kehitykselle. Lisäksi Brahe koki vielä erään oudon yhteensattuman.

Hän tajusi, että oli välttämätöntä parantaa astronomian asemaa tieteenä tekemällä tarkkoja järjestelmällisiä havaintoja. Hän oli taitava mekaanikko ja rakensi astronomisia tarkkuuskojeita, joiden suorituskyky oli ajan oloissa muita ylivoimaisesti parempi. Saatuaan juuri valmiiksi suuren, lähes kahden metrin pituisen sekstantin hän marraskuun 11. päivän iltana 1572 mykistyi hämmästyksestä löytäessään Kassiopeian tähtikuviosta uuden kirkkaasti loistavan tähden. Tulokas (supernova) herätti suunnatonta huomiota kaikkialla Euroopassa. Sen ilmestyminen taivaalle oli ristiriidassa kaikkien astronomisten käsitysten, myös Kopernikuksen järjestelmän kanssa. Otaksuttiin näet yleisesti, että tähtitaivas oli liikkumaton, muuttumaton ja ikuisesti sama.

Nyt oli selvitettävä, kuuluiko uusi loistava valo todella kiintotähtiin vai oliko se, kuten monet väittivät, meteorologinen ilmiö ”sublunaarisessa sfäärissä” eli kuun alaisessa taivaanpiirissä. Uusi

tähti yllätti täydellisesti astronomit, joilla ei ollut välineitä niin tarkkojen havaintojen tekoon, että niiden avulla olisi voinut ratkaista, liikkuiko se ja siten oli "sublunaarinen", vai pysyikö paikallaan muihin kiintotähtiin verrattuna. Kuvaavana esimerkkinä aikakauden astronomien puutteellisista varusteista on Keplerin opettaja, Tubingenin yliopiston professori ja Euroopan etevimpiin kuuluva tähtitieteilijä Maestlin, joka koetti suoriutua pulmasta pingottamalla ompelulangan kahdeb tähden "välille" siten, että se samalla kulki uuden tähden ylitse. Koe toistettiin useina peräkkäisinä öinä eikä Maestlin kyennyt havaitsemaan mitään muutoksia. Uusi taivaankappale näytti "kiintotähdeksi" mutta näin alkeellisten kokeiden tulos ei juuri ollut vakuuttava.

Tycho Braheelle tarjoutui ainutlaatuinen tilaisuus, sillä paljain silmin näkyviä supernovoja ilmaantuu vain kolme tai neljä kertaa vuosituhannessa. Hänen järjestelmälliset ja erittäin tarkat havaintonsa todistivat kiistattomasti, että oli kysymys "kiintotähdestä".

Nuoren tanskalaisen tutkimukset herättivät tavatonta huomiota ja hänet tunnustettiin heti aikansa johtavaksi tähtitieteilijäksi. Hänelle tuli kutsuja monien ruhtinain hoveihin, mutta hän hyväksyi Fredrik II:n suurenmoisen tarjouksen. Hän sai haltuunsa koko Venin saaren ja lisäksi runsaasti rahaa »matemaattisten tutkimustensa jatkamiseen».

Uranienborgin ja Stjerneborgin tähtitornit, jotka Brahe rakennutti Veniin, kuuluvat maailmanhistorian suurisuuntaisimpiin astronomisiin yritysaikeisiin. Niiden lasketaan maksaneen nykyrahana noin 10 miljoonaa Tanskan kruunua - Tanskan silloiseen kansantuloon verrattuna jättiläissumma, jota hyvin voidaan verrata esimerkiksi meidän aikamme valtaviin sijoituksiin radioastronomiaan.

Riitauduttuaan Kristian IV:n kanssa Tycho Brahe poistui Venistä ja matkusti Rudolf II:n luo Prahaan kirjava seurue mukanaan. Siellä hän viimeisinä elinvuosinaan kohtasi Keplerin, millä dramaattisella tapahtumalla oli ratkaiseva merkitys tulevalle kehitykselle. Yli 20 vuotta olivat sitä ennen Brahe ja hänen apulaisensa innokkaasti ja uupumattomasti merkinneet muistiin planeettojen liikkeitä ja määritelleet tähtien asemat. Tulokset koottiin taulukoihin, joita Kepler sitten käytti matemaattisissa analyyseissään. Lisäksi tähtien asemat oli kaiverrettu mahtavaan taivaanpalloon, jonka lävistäjä oli yli 1 1/2 metriä. Siinä oli tarkoin esitetty tasan tuhannen tähden sijainti, mikä luku edustaa runsaasti 3/4 kaikista Venin horisonttiin paljain silmin erottuvista tähdistä. Brahe ja hänen astronomeillaanhan ei ollut teleskooppeja. Tämän kojeen otti kymmenen vuoden kuluttua hänen kuolemastaan käyttöön Galileo Galilei.

Suuresta taivaanpallostaan Tycho Brahe kirjoittaa aiheellisen ylöspäin:

"En usko, että missään koko maailmassa on valmistettu näin suurta tähtikarttaa, joka olisi yhtä huolellista ja tarkkaa tekoa ja joka suhteessa yhtä oikea. (Suotakoon minulle anteeksi, että kerskailen!)"

(Gerholm & Magnusson 1985, 217 – 220.)

Kuten tähänastisesta on selvinnyt, tapahtui Kopernikuksen suorittama tähtitieteen uudistus sellaisen materiaalin pohjalta, joka oli ollut

pääpiirteittäin tiedossa jo Ptolemaioksesta alkaen. Samoin ne metafysiset ja haaveelliset näkökohdat, jotka osaltaan olivat taustalla esitettäessä argumentteja Kopernikuksen puolesta tai häntä vastaan, olivat peräisin antiikin maailmasta. Tähtitiede sen enempiä kuin mikään muukaan tiede ei kuitenkaan pystynyt "syttymään" eteneväksi uutta tietoa hankkivaksi tieteen, ennen sen metodiikan ja asenteen perinpohjaista uudistumista. Uusi maailmanjärjestelmä, jota kohti tähtitiede oli kulkemassa, perustui muun ohella myös uusille asiatiedoille. 1500-luvun jälkipuoliskon tähtitieteilijöistä tämän oivalsi selkeimmin tanskalainen Tyko Brahe (1546-1601). Hänen oma tarmonsä ja organisaatiokykynsä yhdessä onnellisten olosuhteiden kanssa antoi hänelle mahdollisuuden oivallustensa laajamittaiseen realisoimiseen.

Tyko Brahen monimuotoista työtä tähtitieteilijänä ei tässä artikkelissa käydä selostamaan. Nyt riittäköt seuraavat maininnat.

Tyko Brahen tähtitieteellisen työn taustana on kaksi eri tyyppiä olevaa impulssia, jotka onnellisen sattuman takia vaikuttivat 1500-luvun viimeisinä vuosikymmeninä samaan suuntaan. Ensimmäinen impulssista on Kopernikuksen ehdottama planeettojen uusi järjestelmä, jota edellä on runsaasti käsitelty, ja joka tuolloin nousi tähtitieteilijäin ja monien muidenkin keskeiseksi keskustelun aiheeksi. Toisen impulssin antoivat tähtitaivaalla tuolloin näkyvät poikkeuksellisen laajaa huomiota herättäneet ilmiöt. Aivan riippumattomia toisistaan nämä impulssit kenties eivät ole. Kopernikuksen uudistus oli "problematisoinut" siihen asti yksimielisesti vakaaksi hyväksytyt tähtimaailman, ja sen takia taivaalla näkyviin poikkeuksellisiin ilmiöihin suhtauduttiin kiihottuneemmin kuin muuten kenties olisi suhtauduttu.

Tyko Brahen kannalta ratkaisevimmaksi muodostui vuonna 1572 taivaalla leimahtanut uusi tähti. Sen havainnoiminen ja siitä tehtävät johtopäätökset saivat Brahen lopullisesti valitsemaan urakseen tähtitieteen. Hän julkaisi jo 1573 pienen uutta tähteä käsittelevän teoksen "De Nova Stella". Pian tämän jälkeen hän sai Tanskan kuninkaan Fredrik toisen innostumaan tähdistä niin suuresti, että hallitsija antoi hänelle observatorion rakentamista varten läänitykseksi Juutinraumassa sijaitsevan Hven-saaren, ja lisäksi varmisti observatorion rahoituksen useilla muilla läänityksillä. Saarelle Brahe rakensi observatorion, jolle hän antoi nimen Uranieborg, ja myöhemmin tälle Stjerneborg-nimisen täydennyksen. Suurimman osan elämäntyöstään Brahe teki Uranieborgissa vuosina 1576-1597.

Brahen havaintotyötä Uranieborgissa värittivät noina vuosina ilmestyneet useat suuret komeetat, joista varsinkin vuosien 1577 ja 1585 komeetat muodostuivat historiallisesti merkittäviksi. Dreyer toteaa: "Vuoden 1572 tähti ja Hvenillä havaitut komeetat olivat valmistaneet tietä astronomian restauraatiolle tuhoamalla vanhoja ennakkoluuloja. Sen takia Tyko päätti kirjoittaa näistä uusista ilmiöistä suuren teoksen, joka sisältäisi tulokset kaikista hänen havainnoistaan, jotka jollain tavoin liittyivät niihin".

Brahen suunnitteleman teoksen ensimmäisen osan piti olla omistettu uudelle tähdelle. Suorittamiensa havaintojen redusoimista

varten Brahe tarvitsi luotettavia kiintotähtitaulukoita, ja tällaisten laatimista varten tarvittiin tutkimuksia mm. prekessiosta, Auringon liikkeestä, refraktiosta ym. Tämä merkitsi kaiken havaitsevan tähtitieteen perustana olevan fundamentaalimateriaalin uutta keräämistä ja analysoimista; Brahe oli aivan oikein vakuuttunut siitä, että vanhan Ptolemaiokselta tai jopa hänen edeltäjiltään peräisin olevan ja vuosisatojen saatossa paikkaillun materiaalin varaan ei tähtitiedettä enää voinut rakentaa. Kaiken tämän materiaalin kerääminen johti Brahen suurteoksen ensimmäisen osan sekä paisumiseen että viivästymiseen. Brahe ja monet hänen assistenttinsa työskentelivät projektin kimpussa Brahen koko elinajan, ja lopulta teos ilmestyi vasta hänen kuolemansa jälkeen v. 1602 Johannes Keplerin toimesta. Teos tunnetaan Brahen sille antamalla nimellä "Astronomiae Instauratae Progymnasmata" (Johdanto uudistettuun tähtitieteeseen). Tämän materiaalin analysoimisen yhteydessä Brahe eliminoi useita vanhalta ajalta asti peräisin olevia virheellisiä käsityksiä, jotka olivat tarpeettomasti mutkistaneet tähtitiedettä Kopernikukseen asti; mm. hän totesi trepidaation nimellä tunnetun prekession heilahtelun kuvitelmaksi.

Teoksen toisen osan tuli käsitellä vuoden 1577 komeettaa. Tämä osa ei vaatinut samanlaista laajaa lisämateriaalia kuin ensimmäinen osa, ja sen takia se valmistui aikaisemmin. Teos "Tychonis Brahe Dani, De Mundi Aetheri recentioribus phaenomenis Liber secundus, ..." (Tanskalaisen Tyko Brahen Toinen kirja eetterimaailman viimeaikaisista ilmiöistä, ...) painettiin Brahen omassa kirjapainossa Uranieborgissa v. 1588, mutta se "julkistettiin" vapaaseen kauppaan vasta ensimmäisen osan ilmestymisen jälkeen v. 1603. Teoksen kahdeksas luku käsittelee komeetan kulkua avaruudessa, ja siinä Brahe antaa ensimmäisen kerran selonteon omasta planeettaliikkeen teoriastaan, johon kohta palaamme.

Edellä mainittujen lisäksi Tyko Brahe julkaisi kaksi muuta merkittävää teosta. Vuonna 1596 painettiin Uranieborgissa Brahen ja Hessenin maakreivin sekä tämän astronomin Christopher Rothmanin kirjeenvaihto vuosilta 1586-1590 (Tychonis Brahe Dani Epistolarum astronomicarum libri, quorum primus hic ... complectitur; Tanskalaisen Tyko Brahen astronomisten kirjeiden kirjat, joista tässä ensimmäinen ... valmistuu. Useampia osia ei ilmestynyt). Kirjeenvaihto käsitteli vuonna 1585 ilmestyneestä komeetasta tehtyjä havaintoja sekä Tyko Brahen systeemiä. Kirjeenvaihdon teki historiallisesti merkittäväksi ennen kaikkea se, että Brahe esittelee kirjeissään pontevasti syitä, joiden takia hänen mielestään ei oppia Maan liikkumisesta voi hyväksyä. Kaksi vuotta myöhemmin Brahe julkaisi havaintokojeitaan kuvailevan kirjan "Astronomiae Instauratae Mechanica" (Uudistetun astronomian mekaaniset kojeet).

Tyko Brahen elämäntyö merkitsi ensimmäistä suurta askelta sillä tähtitieteen uudistumisen tiellä, jonka Kopernikuksen De Revolutionibus -teoksen ilmestyminen oli pannut alulle. Brahe ilmaisi aina mitä suurimman kunnioituksensa Kopernikusta kohtaan. Tämän teoksia hän oli perusteellisesti tutkinut. Matkustaessaan v. 1575 Saksassa Brahe sai ystävältään Thaddeus Hageciukselta lahjaksi kopion Kopernikuksen Commentariolus -käsikirjoituksesta, ja Brahe

toimitti siitä ajan mittaan kopioita monille saksalaisille tähtitieteilijöille. Brahe käsitti täydellisesti, että Kopernikuksen uudistuksen ydinkohta oli traditionaalisen teorian "suurien episykliin" selittäminen Maan kiertoliikkeen avulla, jolloin tuli myös mahdolliseksi planeettojen etäisyyksien laskeminen. Hän kirjoittaa: "Käsitän hyvin, että ne planeettojen kierrot, jotka vanhat <astronomit> selittivät episykleillä, selittää Maan yksi liike vähemmällä vaivalla ja yhtenäisellä tavalla". Brahe kritisoi Ptolemaiosta mm. ekvantin käytöstä sekä siitä, että "aurinkorelaatiot" eivät Ptolemaioksella saa mitään selitystä. Kuitenkaan Brahe ei hyväksy oikeaksi Kopernikuksen perusoivallusta, että aurinkorelaatioiden oikea selitys olisi Maan liike. Maan liikkumista vastaan Brahe esittää lukuisia sekä fysikaalisia, tähtitieteellisiä että Raamattuun vetoavia argumentteja. Nämä tulivat näyttelemään keskeistä osaa alkavassa kopernikanismikiistassa, mutta sen selostaminen ei kuulu tämän artikkelin aiheeseen. Brahen sanojen mukaan Kopernikus yrittäessään välttää Ptolemaioksen matematiikan Skyllaa haaksirikkoutui Kharybdikseen jollaista Maan kolminkertaisen liikkeen ohessaan tuoma fysikaalinen absurditeetti merkitsi.

Teoksensa "De Mundi Aetheri recentioribus phenomenis Liber secundus" kahdeksannessa luvussa Brahe kertoo, että hän ei ole voinut hyväksyä oppia Maan liikkumisesta, vaan on pohtinut, olisiko olemassa jokin toinen hypoteesi, joka olisi yhteensopiva ilmiöiden ja matemaattisten periaatteiden kanssa, eikä kuitenkaan olisi fysikaalisten periaatteiden vastainen. Hän ilmoittaa päätyneensä tulokseen, että tällainen systeemi on mahdollinen. On pantava Kuu ja Aurinko kiertämään Maata, mutta sijoitettava muut planeetat kiertämään Aurinkoa. Asiallisesti ottaen tämä merkitsee sitä, että Kopernikuksen rakentama järjestelmä hyväksytään Aurinkokunnan jäsenten suhteellisten liikkeiden oikeaksi esitykseksi, mutta systeemin paikallaan pysyväksi kiintopisteeksi valitaan Auringon sijasta Maa. Brahe itse kielsi, että hänen systeeminsä olisi vain "käännetty" Kopernikuksen systeemi, mutta sellainen se itse asiassa oli, ja sellaisena käännöksenä se myös historiallisesti syntyi. Tällaisen "maa-aurinko-keskisen" kompromissin esittäminen oli ilmeisesti "ilmassa", sillä samana vuonna 1588 kun Tyko Brahe julkisti ehdotuksensa, esitti olennaisesti saman järjestelmän myös Nikolaus Reimarus Ursus, ja myöhemmin ilmoitti vielä Helisaeus Röslin keksineensä saman systeemin Brahesta riippumatta." Ursuksen systeemi poikkesi sikäli Brahen esittämästä, että Ursus sijoitti vuorokautisen pyörimisliikkeen Maan liikkeeksi, ja tämän hyväksyivät myöhemmin monet muutkin. "Puolikopernikaaninen" systeemi, jossa Maa sijaitsee keskellä ja pyörii oman akselinsa ympäri, kun taas viisi planeettaa kiertää Maan ympäri kiertävää Aurinkoa, olikin 1600-luvun ensimmäisellä puoliskolla ja joskus myöhemminkin vallitseva ja parhaana pidetty maailmanjärjestelmä. Otaksuttavasti se merkitsi jonkinlaista pehmentävää välivaihetta kopernikanismin lopullisen hyväksymisen historiassa.

Tyko Brahen systeemissä hyväksyttiin siis traditionaalisen planeettateorian aurinkorelaatioille selitys, joka systeemin sisäisen geometrian perspektiivistä on yhtäpitävä Kopernikuksen antaman

selityksen kanssa. Brahen mukaan viiden planeetan havaitussa liikkeessä on mukana "aurinkotermit" sen takia, että ne kiertävät Aurinkoa ja seuraavat Aurinkoa sen vuotuisella kierrolla Maan ympäri. Mikäli jotkut pitivät Kopernikuksen teoriaa tästä huolimatta suuremman selitysarvon omaavana, niin tämä ilmeisesti merkitsi, että "selitykselle" asetettiin muitakin vaatimuksia kuin pelkästään systeemin geometriaan vetoavia. Probleemi nousi esiin Tyko Brahen ja Christopher Rothmanin kirjeenvaihdossa. Rothman syyttää Tykon järjestelmää siitä, että järjestelmä kylläkin kuvailee, miten ilmiöt tapahtuvat, mutta ei selitä, miksi ne tapahtuvat näin. Jälkimmäisen asian oli Rothmanin mielestä Kopernikus kauniisti selittänyt (*Moesgaard 1 s. 48, Schofield s. 100-103*).

(Lehti 1989, 164 - 168.)

3.7 Johannes Kepler (1571 – 1630)

- Kepler syntyi Galilein jälkeen ja kuoli ennen Galileita.
- Merkitys Maan liikkumisen opin voittoon saattamisessa on ratkaiseva. Tieteellinen esikoisteos *Mysterium Cosmographicum* ilmestyi vuonna 1596.
- Kepler asetti lopulta kyseenalaiseksi myös viimeisen aristoteelisch-ptolemaioslaisen geosentrisen kosmologian aksiooman, täydellisen ympyräliikkeen
- Kepler halusi selvittää, miksi planeettojen kiertoradat ovat tietynsuuruisia, miksi planeettoja oli kuusi ja miten radat ja planeettojen luku saataisiin harmoniseen geometriseen suhteeseen keskenään.
- Ratkaisu: Platonin viisi säännöllistä kappaletta

Johannes Kepler kopernikanistina

1. KEPLER JA KOPERNIKANISMI

Kopernikuksen pääteoksen julkaiseminen vuonna 1543 synnytti tähtitieteessä ja kosmologiassa virtauksen, joka hallitsi kaikkea kuudennentoista vuosisadan jälkipuoliskon merkittävää astronomista tieteenharjoitusta. Virtaus pysyi kuitenkin vuosisadan loppuun asti jossain määrin pinnan alaisena. Kuten edellisissä artikkeleissa on todettu, oli Kopernikuksen avoimia kannattajia niukasti. Näkyvimmit Kopernikuksen työn suoranaiset vaikutukset olivat seuraavat kaksi:

- Kopernikuksen opettamasta aurinkokeskisyydestä hyväksyttiin ainakin osa; nimittäin Maata lukuun ottamatta sijoitettiin muut planeetat Aurinkoa kiertämään. Tämä merkitsi, että Kopernikuksen antama geometrinen selitys planeettaliikkeen "aurinkorelaatioille" hyväksyttiin pääosin oikeaksi, mutta siihen sisältyvä keskeinen väite Maan liikkumisesta hylättiin syistä, joissa fyysiset, tähtitieteelliset ja teologiset motiivit sekoittuivat. Suuri osa Tyko Brahen elämäntyöstä voidaan nähdä kopernikanismin tämänkaltaisen vaikutuksen

motivoimaksi. Kuten esim. teoksesta Schofield ilmenee, ei Auringon hyväksyminen muidenkaan planeettojen keskuksiksi - Maata siis lukuun ottamatta - ollut millään muotoa universaalista.

- Kopernikuksen teoksesta hyväksyttiin planeettaliikkeen mekanismien yksityiskohdat, jotka kuitenkin edelleen tulkittiin maakeskisesti. Tämä antoi aiheen mm. uusien planeettaliikkeen taulukoiden laatimiselle, ja nämä puolestaan levittivät Kopernikuksen mainetta suurena tähtitieteilijänä. Asiaan ei liittynyt kannanottoa Kopernikuksen kosmologisiin mielipiteisiin: niitä saattoivat jotkut pitää merkittävän astronomin kummallisena kosmologisena hairahduksena, toiset saattoivat ne hiljaisessa mielessään hyväksyä oikeiksikin.

Edellinen kopernikanismin vaikutustapa osoittautui historiassa pysyvämpää merkitystä omaavaksi kuin jälkimmäinen. Huonointa Kopernikuksen teoksessa olivat sen vanhoilliset ja kömpelöt, Ptolemaiosta ja muita vanhoja auktooreja liian tiukkaan seuraavat yksityiskohdat. Kun alkuinnostus oli mennyt ohi, joutuivat Kopernikuksen taulukoihin alunperin myönteisestikin suhtautuneet tähtitieteilijät implisiittisesti tai eksplisiittisesti myöntämään, että Kopernikuksen kinemaattisten konstruktioiden mukaan lasketut planeettaliikkeen taulukot eivät millään olennaisella tavalla merkinneet parannusta aikaisempiin taulukoihin verrattuina.

Ensimmäinen merkittävä tähtitieteilijä, joka julkisesti ja varauksettomasti hyväksyi Kopernikuksen opit liikkuvasta Maasta oli Johannes Kepler (1571-1630). Kepler oli myös astronomi, joka antoi suurimman panoksen kopernikanismikiistan lopulliselle ratkaisulle. Toisesta suunnasta toi asiaan lisäargumentteja Galileo Galilei. Galilein argumentaatio kopernikanismin puolesta on saanut historiassa erityistä hohtoa niiden olosuhteiden ja tapahtumien takia, jotka hänen julistavaan esiintymiseensä liittyivät. Varsinaisen työn kopernikanismin puolesta teki kuitenkin Kepler. Tämän asiakohdan arvioiminen käy mahdolliseksi sen jälkeen kun olemme selvittäneet, mitä Kepler kopernikanismin puolesta teki, joten palaamme asiaan artikkelin lopulla pykälässä 22.

Keplerin merkitystä tähtitieteen historiassa ei alkuunkaan riitä luonnehtimaan toteamus, että hän asiallisesti ottaen ratkaisi kopernikanismikiistan Maan liikkumisen hyväksi. Tärkeämpää on, miten hän tämän teki. Jos ajattelemme - kuten kai oikein on - että Keplerin tähtitieteellisen päätyön muodostavat ne teoriat ja rakennelmat, joista hänen aurinkokeskinen maailmanjärjestelmänsä koostuu, niin tästä löydämme seuraavat kolme komponenttia:

- Traditionaalisesti astronominen komponentti.

Taivaankappaleiden liikkeet on esitettävä sellaisten kinemaattisten mallien avulla, että ne antavat havaintojen mukaisen kuvan planeettojen kulusta tähtitaivaalla. Tälle kunnianarvoiselle tähtitieteen probleemille Kepler antoi ratkaisun, joka systemaattisuutensa ja tarkkuutensa puolesta ylitti verrattomasti kaikki aikaisemmat yritykset. Ratkaisun logiikka ja sisäinen rakenne oli definiitisti Maan liikkeeseen vetoava. Ratkaisun yhden kulmakiven muodostavat sittemmin Keplerin ensimmäisen ja toisen lain nimellä tunnetut planeettaliikkeen lait.

- Fysikaalinen komponentti. Keplerille ei riittänyt taivaankappaleiden liikkeiden geometrinen esitys, vaan hän halusi perustella liikkeet fysikaalisten lakien aiheuttamiksi. Näin tehdessään Kepler siirtyi kulkemaan traditionaalisen tähtitieteen näkemykset hylkääviä uusia polkuja myöten.

- Kosmologinen tai Keplerin omaa termiä käyttäen kosmograafinen komponentti. Kepler halusi selvittää maailman todellisen geometrisen rakenteen syvimät metafysiset syyt. Koska tämä rakenne oli hänen näkemyksensä mukaan aurinkokeskinen, niin nämä kosmograafiset "perimmäiset syyt" antoivat uusia kopernikanismin puolesta puhuvia argumentteja.

Tähtitieteen myöhempää kehitystä ajatellen oli ensimmäinen mainituista komponenteista ratkaisevan tärkeä, sillä se (yhdessä toisentyyppisistä ajatuksista peräisin olevan Keplerin kolmannen lain kanssa) antoi perusmateriaalin, jolle sittemmin Newton rakensi teoriansa. Keplerin spekulatiot planeettaliikettä hallitsevista fysikaalisista laeista olivat monien yksityiskohtiensa osalta harhaan osuneita, mutta niiden muodostama ajatuksellinen kokonaisuus Auriongon hallitsemasta planeettajärjestelmän dynamiikasta oli oikea. Se merkitsi ensimmäistä yritystä planeettaliikkeen probleemin hallitsemiseksi fysikaalisesti mahdolliselta tuntuvan dynamiikan mukaisella tavalla.

(Lehti 1989, 261 – 262.)

Tarkastelemme tässä ja seuraavissa pykälissä *Mysterium Cosmographicum* -teosta artikkelimme aiheen perspektiivistä. Käytämme pohjana vuoden 1621 laitosta, koska Keplerin siihen tekemät huomautukset valaisevat hänen varhaisempiakin ajatuksiaan. Tietty pulma syntyy siitä, että lisähuomautukset tehdessään Kepler tunsi jo elämäntyönsä tulokset, joita tässä artikkelissa tarkastelemme vasta myöhemmissä pykälissä. Tämä johtaa siihen, että joudumme tarkastelemaan Keplerin samoja aiheita sisältäviä tekstejä eri teosten yhteydessä. Kovin suurta haittaa tästä kenties ei ole, sillä tällä tavoin pystymme seuraamaan Keplerin ajatusten "spiraalimaista" kulkua, jolloin hän palaa toistamiseen saman aiheen käsittelyyn mutta joka kerran hieman kokeneempana ja tietävämpänä miehenä.'

Suomennettuna kuuluu Keplerin esikoisteoksen täydellinen nimi seuraavasti: "Kosmograafisten dissertaatioiden ennakoija, joka sisältää kosmograafisen mysteerin taivaankehien ihmeteltävistä suhteista sekä taivaiden lukumäärien, suuruuksien sekä niiden todellisten omien jaksollisten liikkeiden syyt todistettuna viiden säännöllisen kappaleen avulla". Tulemme toistuvasti palaamaan siihen, että Kepler jakoi tähtitieteelliset työnsä kahteen eri päämääriä palvelemaan osa-alueeseen, kosmografiaan ja astronomiaan. Teoksensa toisen painoksen johdantokirjeessä Kepler kuitenkin kertoo, että tämä kosmograafinen teos on johtanut häntä myös astronomina; kaikki hänen myöhemmät astronomiset työnsä ovat tavalla tai toisella saaneet syntynsä tästä pienestä kirjasta. Tyko

Brahen ehdottoman luotettavista havainnoista Kepler kertoo oppineensa, että millään muulla kuin tässä kirjassa ehdotetulla tavalla ei taivaan fysiikkaa eikä metafysiikkaa pysty selittämään. Kepler mainitsee eksplisiittisesti myöhemmät tähtimaailmaa käsittelevät pääteoksensa teoksina, joissa *Mysterium Cosmographicum* -kirjaseen ajatuksia on edelleen kehitetty.

Esikoisteoksensa nimeä Kepler selittää v. 1621 seuraavasti: Hänen alkuperäinen aikomuksensa oli käsitellä vastaavalla tavalla "sieluja, luonteita, elementtejä, tulen olemusta, lähteitä, vuorovesiä" ym. Kepler toivoi menestyvänsä muissa tapauksissa yhtä hyvin kuin kosmografian tapauksessa, mutta pettyi. "Nimittäin taivas, Jumalan töistä ensimmäinen, on koristettu muita vähäisempiä ja kehnompia paljon erinomaisemmin". Niin muodoin tämä "ennakoija" ei saanutkaan suunniteltua jatkoa, mutta lukijaa kehoitetaan pitämään Keplerin astronomisia töitä teoksen jatkona.

Keplerin johtopäätös elämäntyönsä tuloksesta on kiinnostava. Merkitseehän se tunnustusta, että "harmonioita" ei kannata etsiä muualta kuin sieltä, mistä ne todella ovat löydettävissä. Kepler ajatteli muiden aikalaistensa tavoin, että "Mundus", planeettojen ja tähtien muodostama kosmos, on Jumalan luomistöiden joukossa erityisasemassa, ja sen takia sieltä löytyy harmonioita, joita maanpäällisistä ilmiöistä ei löydy. Näkemyksen taustalla on empiirinen ja historiallisesti merkittävä tosiasia, jonka nykyisin olisimme taipuvaisia formuloimaan vähemmän teologisella tavalla. Yhdessä luonnon itsensä ihmisen katseltavaksi tarjoamassa systeemissä, nimittäin Aurinkokunnan jäsenten liikkeissä, toteutuvat yksinkertaisten luonnonlakien luomat "harmoniat". Jos juuri Aurinkokunta ei olisi tällainen, olisivat Kepler ja kaikki muut harmonioiden etsijät jääneet historiaan vain perusteettomien haihattelujen takaa-ajajina. Luonto itse pelasti Keplerin maineikkaaksi tiedemieheksi.

Vuoden 1621 laitukseen Kepler on kirjoittanut pitkähkön kertomuksen teoksensa alkuperäisestä kirjoittamisesta. Hän kirjoittaa keksineensä pääaiheenaan olevan "kosmograafisen mysteerin" (gregoriaanisen kalenterin mukaan) 19. heinäkuuta v. 1595; palaamme tähän kohtaan viidennessä pykälässä. Luvattuaan saman vuoden lokakuussa almanakassaan julkaista aihetta käsittelevän kirjan hän jätti sen painokuntoon saattamisen opettajalleen Mästlinille. Kun kirja sitten valmistui, Kepler lähetti sen mm. Tyko Brahelle. Tämä kehotti Kepleriä luopumaan aprioristisista spekulatioista ja sen sijaan turvautumaan havaintoihin ja etenemään näistä induktiivisesti Brahen systeemin mukaisella tavalla.

(Lehti 1989, 265 – 266.)

KEPLER PRAHASSA 1600-1612

Kepler lähetti esikoisteoksensa monille tunnetuille tiedemiehille - mm. Tyko Brahelle ja Galileo Galileille. Useat näistä - mm. mainitut kaksi miestä - suhtautuivat varsin kriittisesti Keplerin spekulatioihin. Galilei tosin hyväksyi Keplerin kopernikanismin ja ilmeisesti sai Keplerin teoksesta monia sellaisia perusteluja, joita hän itse myöhemmin käytti aurinkokeskisyyden puolesta. Tyko Brahe puolestaan ei ollut kopernikanismin kannattaja, mutta hän näki Keplerissä mahdollisen matemaattisen avustajan omille töilleen. Brahe oli nimittäin vuonna 1599 muuttanut keisari Rudolf 11:n hoviastronomiksi Prahaan mukanaan Hven-saarella 20 vuoden aikana tekemänsä planeettahavainnot, ja hän tarvitsi apulaisia, jotka havaintojen perusteella laskisivat uudet planeettaliikkeen taulukot. Niinpä hän tarjosi Keplerille mahdollisuuden planeettaliikkeen tutkimiseen omana assistenttinaan. Planeettaliikkeen taulukoiden laskemistyö Tyko Brahen ohjeiden mukaisesti ei tosin Kepleriä erikoisemmin innostuttanut, mutta Kepler toivoi tällä tavoin saavansa käsiinsä omien kosmologisten spekulatioittensa täsmentämistä varten välttämättömiä tietoja. Osittain tästä syystä, osittain siksi, että Itävallan arkkiherttua Ferdinand oli vastauskonpuhdistuksen merkeissä ryhtynyt karkottamaan protestantteja Steiermarkista, otti Kepler Brahen tarjouksen vastaan. Elokuun 7. päivänä 1600 Kepler sai karkoituspöytäkirjan. Saman vuoden lokakuussa hän muutti Prahaan perheineen. Tähän kuuluivat hänen vaimonsa Barbara, jonka kanssa Kepler oli solminut avioliiton v. 1597, ja vaimon tytär aikaisemmasta avioliitosta.

Kepler asui Prahassa vuoden 1600 lokakuusta vuoden 1612 toukokuuhun. Näihin vuosiin sisältyy ensimmäinen ja merkittävin hänen suurista luomiskausistaan, jolloin hän erityisesti keksi kaksi edelleenkin nimellään kulkevaa planeettaliikkeen lainalaisuutta.

Tyko Brahe antoi v. 1600 Keplerin selvitettäväksi planeetta Marsin liikkeitä. Mars-planeetan radan suuresta eksentrisyydestä johtuen oli tämän planeetan liikkeitä erityisen vaikea tarkasti esittää eksentrisen ympyrän avulla, jollainen liiketila planeetoille tarjoutui, mikäli Almagestin kinemaattiset mallit suoraan käännettäisiin aurinkokeskisiksi.

Keplerin Mars-planeetan liikettä koskevat tutkimukset kasvoivat laajoiksi ja runsaasti aikaa ja työtä vaativiksi. Vasta vuonna 1609 Kepler sai julkaistuksi (tosin jo muutaman vuoden valmiina olleet) tuloksensa teoksena *Astronomia Nova* ... Teos on yksi luonnontieteiden suurteoksia. Siinä luodaan käsitteellinen pohja taivaankappaleiden liikkeen teorialle fysikaalisena tieteenä, ja esitetään taivaankappaleiden liikkeille konkreettinen kinemaattinen malli, joka edelleenkin on tarpeellisin täydennyksin Aurinkokunnan liikkeitä tutkivan taivaanmekaniikan perustana. Ennen tämän teoksen tarkastelua mainitsemme muista Keplerin Prahakauden teoksista.

Prahassa Kepler kirjoitti kaksi teosta, jotka käsittelevät geometrista optiikkaa ja sen astronomisia sovellutuksia. Nämä teokset olivat v. 1604 ilmestynyt *Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomix pars Optica traditur*, ja v. 1611 ilmestynyt *Dioptrice seu*

Demonstratio eorum quae visui et visibilibus propter Conspicilla non ita pridem inventa accidunt. Edellinen teoksista syntyi, kun Kepler ryhtyessään Tyko Brahen kanssa yhteistyöhön huomasi, miten läheisesti optiset probleemit liittyvät tähtitieteeseen. Teoksen ensimmäinen osa käsittelee refraktiota sekä optisen kuvan muodostumista mm. peileissä. "Astronomista optiikkaa" käsittelevä jälkimmäinen osa tarkastelee mm. valon kulkua ilmakehässä, pimennyksiä jne. Tarkastelemme seuraavassa pykälässä tuossa teoksessa kopernikanismin puolesta esitettyjä argumentteja. Matematiikan historian kannalta kiinnostavaa on, että Kepler optiikan yhteydessä käsittelee laajahkosti kartioleikkauksia mm. niiden polttopisteominaisuuksia, sekä ellipsien, paraabelien ja hypebelien muuntumista toisikseen, kun toinen polttopiste pysyy paikoillaan, ja toinen siirtyy suoraa viivaa myöten "äärettömyyden kautta" sen toiselta puolelta toiselle.

(Lehti 1989, 302 – 303.)