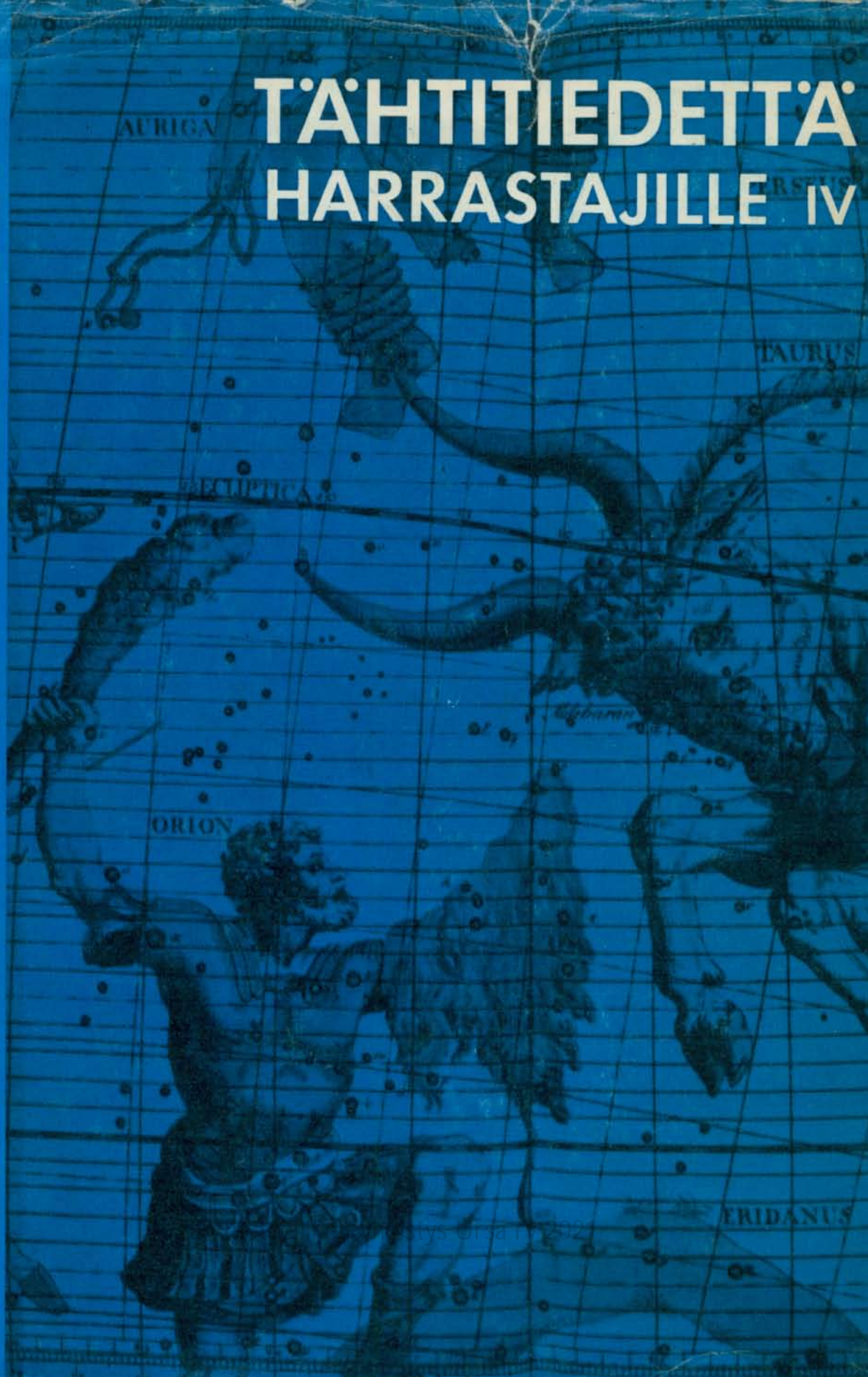


URSAN JULKAISUJA V

WSOY

# TÄHTITIEDETTÄ HARRASTAJILLE IV



TÄHTITIEDETTÄ

HARRASTAJILLE

IV

URSAN JULKAISUJA V

TÄHTI-  
TIEDETTÄ  
HARRASTAJILLE

IV

PORVOO · HELSINKI

WERNER SÖDERSTRÖM OSAKEYHTIÖ

## MAAILMANKAIKKEUDEN SYNTYTEORIOISTA

Kirj. R. A. HIRVONEN

Olipa kerran hurskas erakko, joka omisti elämänsä pyhien asioiden mietiskelylle. Brahma halusi palkita hänen hurskautensa ja lupasi ilmaista hänelle yhden syvimmistä salaisuuksistaan hänen oman valintansa mukaan, mutta vain sillä ehdolla, ettei erakko ilmaisisi sitä edelleen muille. Kauan mietittyään erakko kysyi: Kuinka kauan maailma on ollut olemassa? Brahma kuiskasi hänen korvaansa: Sitä minä en tiedä.

Näin kertoo Buddha. Mutta myöskään kristinuskon mukaan ei ole luvallista tietää perustotuksista enempää kuin Jumala on katsonut hyväksi ilmoittaa. Ihmisen Hän loi »viljelemään ja varjelemaan» maata, ts. käyttämään hyväkseen luonnon antimia tuhoamatta tulevien sukupolvien elämän mahdollisuuksia, ja sitä varten on meillä kyky kehittää teknillistä taitoamme. Nykyisin teknillisen kehityksen edellytyksenä on tieteellinen tutkimus havaintoineen, kokeineen ja johdonmukaisine päättelyineen. Tieteellisen tutkimuksen suunnattoman menestyksen häikäisemänä ihmiset alkoivat uskoa, että se on myöskin ainoa ja varma tie perustotuksiin, tietoon luomakunnan rakenteesta, sen alusta ja lopusta, elämästä ja kuolemasta.

Viime vuosina on useiden filosofisten tutkimusten johdosta luottamus ihmisjärjen mahdollisuuksiin jälleen alkanut horjua. Ehkä ensimmäinen, joka aavisti, mikä on tieteellisen tutkimuksen korkein päämäärä, oli KOPERNIKUKSEN ystävä luterilainen ANDREAS OSIANDER. Hän esitti KOPERNIKUKSEN teoksen *De Revolutionibus Orbium Coelestium* esipuheessa käsityksen, että KOPERNIKUKSEN järjestelmä on vain matemaattinen malli, jonka avulla on mukava laskea taivaankappalten liikkeitä. Siihen tarkoitukseen se olikin parempi malli kuin PROLEMAIOKSEN esittämä, sillä KOPERNIKUS selitti aurinkokunnan liikkeit 36 ympyrällä, kun PROLEMAIOS oli tarvinnut 79. Oli vain laskuteknillinen seikka, mihin maailmankaikkeuden keskipiste sijoitettiin; sitä ei ehkä KOPERNIKUSkaan täysin tajunnut, mutta hän kykeni irtautumaan käsityksestä, että Maa olisi todellinen keskus.

Nykyisin ei kukaan puolueettomasti ajatteleva tiedemies väitä, että inhimillinen tieto voisi lausua jotain täysin varmaa »todellisuudesta», vaikkakin se usein pystyy antamaan täsmällisempiä »ennustuksia» tulevaisuudesta kuin profetallinen ilmoitus. Tieteellinen tutkimus on havaittujen ilmiöiden kokoamista ja teorian rakentamista. Jos teoria voidaan pukea matemaattisten kaavojen muotoon, niin suhteellisen vähistä lähtöolettamuksista voidaan tehdä suuri joukko täsmällisiä

Werner Söderström Osakeyhtiön

kirjapainossa Porvoossa

1965

johtopäätöksiä, joita ikään kuin jälkeensä verrataan uusien havaintojen ja kokeiden antamiin tuloksiin. Mutta näin saatu rakenteellinen yhtäläisyys todellisuuden ja teorian välillä ei ole täydellinen; teoriaa täytyy lisäillä ja korjailta alinomaan. Vaikka ristiriitoja ei esiintyisikään, niin se ei vielä todista, että teoria olisi »oikea» tai edes ainoa mahdollinen. Teoria on vain sitä »taloudellisempi», mitä vähemmän siinä on lähtöoletuksia ja mitä enemmän siitä seuraa havaittavia johtopäätöksiä. Teoria on pelkkää ajatuksen leikkiä, jos siitä ei seuraa mitään sellaista, jota voitaisiin havaita.

Monet ihmiset pitävät »tieteellisesti todistettuina» asioita, jotka ovat vain teoriaa, olipa teorian esittäjä sitten DARWIN, MARX, FREUD tai EINSTEIN. Kaikki nämä teoriat ovat esittäneet oikeaan osuneita ennusteita, mutta merkitsi tieteellisen tutkimuksen pysähtymistä, jos niistä tulisi uskonkappaleita. Toisaalta on asioita, joissa tieteellinen tutkimus todella pysähtyy, kun se selvästi näkee edessään rajan. Maailmankaikkeuden tutkimus on erään sellaisen rajan tuntumissa. Kun me seuraavassa usein rohkeasti ylitämme tuon rajan, niin on muistettava, että se ei ole enää tiedettä vaan ajatuksen leikkiä.

### Newtonin avaruus

Aluksi kehittelemme maailmankaikkeuden rakenteesta ja synnystä erään kuvitelman, joka perustuu pikemminkin esitieteelliseen luontaiseen näkemykseen kuin koeteltuun matemaattiseen teoriaan. Kuvittelemme, että avaruus on ikään kuin suuri tyhjä laatikko, jonka sisällä olevan pisteen paikka voidaan määrittää mittaamalla sovitusta kiinteästä pisteestä lähtien kolme koordinaattia sovittuihin keskenään kohtisuoriin suuntiin, esim. eteenpäin, ylöspäin ja oikealle. Tähän laatikkoon alamme rakentaa mallia maailmankaikkeudesta aivan niin kuin maanmittari piirtäisi karttaa millimetripaperille.

Kun olemme kartoittaneet aurinkokunnan ja Linnunradan kaikkine tähtineen sekä kaasun ja pölypilvineen, sijoitamme malliimme vielä Linnunradan ulkopuolella olevat muut samantapaiset järjestelmät, kierukkasumut, elliptiset sumut sekä epäsäännölliset sumu- ja tähtipilvet. Joskus näitäkin järjestelmiä sanotaan linnunradoiksi; millään kielellä ei ole keksitty niille tyydyttävää yleisnimitystä.

Emme tiedä aivan varmasti, kuinka kauas on sijoitettava äärimmäiset järjestelmät, joita suurimmilla kaukoputkilla voidaan valokuvata, mutta johdonmukaisesti päätellen niihin on matkaa neljä tuhatta miljoonaa valovuotta. Näitä järjestelmiä ei siis voida myöskään sijoittaa nykyisille paikoilleen vaan sinne, missä ne olivat neljä tuhatta miljoonaa vuotta sitten.

Avaruusmallimme on siis jo tältä osaltaan aika lailla epävarma, mutta sen jatkaminen vielä kauemmas on silkkää ajatuksen leikkiä. Havainnot eivät osoita, että tähtijärjestelmiä olisi harvemmassa näköpiirimme rajoilla. Onko siis oletettava, että maailmankaikkeus jatkuu yhtä tiheänä äärettömyyteen asti? Vai onko luultavampaa, että myöskin näköpiirimme ulkopuolelle jääneet tähtijärjestelmät

mahtuisivat yhteen tarpeeksi suureen laatikkoon, jonka ulkopuolella on rajaton tyhjiys?

Kun NEWTON oli keksinyt yleisen vetovoimalakinsa, hän kirjoitti tästä kysymyksestä eräälle pappisystävälleen seuraavasti: Jos aine olisi alussa jakautunut avaruuteen tasaisesti ja jos sitä olisi vain äärellinen määrä, niin kaikki aine olisi jo aikojen kuluessa pudonnut keskustaan ja muodostanut yhden ainoan suuren pallon. Mutta jos ainetta olisi ääretön määrä, se olisi lohkeillut pilviksi ja puristunut äärettömän moneksi taivaankappaleeksi, jotka olisivat hyvin kaukana toisistaan.

NEWTON oli siis ehkä äärettömän avaruusmallin kannalla, vaikka hän ilmeisesti ei tarkoittanutkaan ajatustaan julkaistavaksi. Hänellehän teoriat olivat luonnolakeja, hypoteeseja hän ei halunnut esittää. Viime vuosisadan alussa kuitenkin OLBERS päätteli, että jos ääretön määrä tähtiä olisi jakautunut tasaisesti avaruuteen, niin niistä tulisi niin paljon valoa, ettei taivaalla pimeää paikkaa olisikaan. Tähdet tosin varjostaisivat sen verran toisiaan, ettei valomäärä kasvaisi äärettömäksi, mutta joka tapauksessa säteily olisi niin voimakasta, että pimeät pilvetkin olisivat jo kauan sitten ruvenneet hehkumaan.

CHARLIER on huomauttanut, että jos tähtijärjestelmät muodostaisivat suurempia sikermiä, nämä vielä suurempia ja niin edespäin yhä suuremmin välimatkoin, niin OLBERSIN päätelmä ei pitäisi paikkaansa. On kuitenkin havaittu, että korkeintaan muutamia kymmeniä järjestelmiä voi kuulua samaan sikermään niin kuin esim. oma Linnunratamme lähimpine naapureineen, mutta ne tuhannet miljoonat sikermät, joiden keskinäisiä välimatkoja on voitu tutkia, näyttävät muodostavan yhden ainoan tasaisesti jakautuneen parven. Sen reunoista ja vielä vähemmän sen ulkopuolella olevista samanlaisista tai vielä suuremmista järjestelmistä meillä ei ole mitään tietoa.

Palaamme myöhemmin kuvitelmiin äärettömän laajoista maailmankaikkeuksista ja tutkimme nyt sitä äärellistä avaruusmallia, jonka NEWTON hylkäsi. Mitä oikeastaan tapahtuu, jos kaikki taivaankappaleet alkavat pudota keskinäisen vetovoimansa vaikutuksesta koko parven keskustaa kohti? On huomattava, että näillä voi aluksi olla suunnattomia nopeuksia myös sivuillepäin. Joka tapauksessa liikkeet suuntautuvat vähitellen yhä enemmän keskustaan päin ja vauhti kiihtyy. Keskustan lähellä vauhti on suurimmillaan, mutta jokainen tähti voi mennä hyvinkin kaukaa keskustan ohi. Sitä paitsi ne eivät saapuisi keskustan lähelle edes yhtä aikaa. Tähtien välisiä yhteentörmäyksiä tapahtuisi vain harvinaisissa poikkeustapauksissa; yleensä tähdet aiheuttaisivat vain pieniä kaartumia toistensa ratoihin. Sen tähden ne vain sujahtavat turvallisesti keskustan lävitse tai ohitse ja jatkavat matkaansa sen toiselle puolelle, mutta tällä kertaa hidastuvalla vauhdilla. Kun vauhti on loppunut, alkaa uusi putous takaisin päin. Tällaista edestakaisista heilahtelemista voi jatkua niin kauan kuin tähti itse pysyy koossa. Ainoa pysyvämpi muutos on, että tähtien välissä olevan kaasun ja pölyn vaikutuksesta edestakaiset heilahdukset tapahtuvat aluksi hyvin soikeita ja myöhemmin yhä pyöreämpiä ratoja pitkin. Kokonaisuudessaan maailmankaikkeus pysyy koossa kuin hyttysparvi.

Todellisuudessa tällaisia tähtiparvia on syntynyt useampia. Sanomme niitä palonmuotoisiksi tähtisikermiksi, ja niitä on nähty kymmenittäin oman Linnunratamme ja muidenkin vastaavanlaisten järjestelmien ympärillä. Kierukkasumut taas ovat sikermiä, joita pitää koossa toisenlainen mekanismi. Ne ovat kiekkoja, joissa tähdet kiertävät keskustan ympäri, ja kiertoliikkeen aiheuttama keskipakovoima estää tähtiä putoamasta keskustaan.

Mutta voimmeko kuvitella, että jompikumpi näistä kahdesta mekanismista pitäisi yllä koko maailmankaikkeutta tai edes sen näkyvää osaa? Kokonaisen tähtijärjestelmän kiertoliike kaukana olevan keskustan ympäri olisi niin hidasta, ettei se tulisi näkyviin koko ihmissuvun elinaikana. Edestakaisessa heilahdusliikkeessä voisi olla mahdollista, että toiset tähtijärjestelmät olisivat putoamassa, toiset taas loittonemisvuorossa. Yhteentörmäykset olisivat tavallisia, mutta ne eivät merkitsisi mitään katastrofia, sillä tähtipilvet sujahtaisivat vain toistensa läpi, koska yksityisten tähtien välillä on tilaa valovuosikaupalla. Ainakin kolme tällaista kierukkasumujen yhteentörmäystä onkin paraikaa havaittavissa tähtitaivaalla, mutta muuta erikoista ei niissä näytä tapahtuvan, kuin että radiolla kuuluu niistä suunnista tavallista enemmän kohinaa.

Kuten jokainen tietää, on havaintojen antama yleiskuva maailmankaikkeuden liiketilasta kuitenkin sellainen, että yksikään tähtijärjestelmä ei ole selvässä putoamisvaiheessa, vaan vallalla näyttää olevan loittoneminen tai oikeammin hajaantuminen. Kaukaiset järjestelmät loittonevat meistä yhä kauemmaksi nopeuksilla, jotka ovat verrannolliset nykyisiin etäisyyksiin. Emme tiedä, ovatko nämä nopeudet kiihtyviä vaiko hidastuvia. Suurin nopeus, joka on havaittu, on liki 140 000 kilometriä sekunnissa, siis melkein puolet valonnopeudesta. Se kuuluu neljän miljardin valovuoden päässä olevalle taivaankappaleelle, kaukaisimmalle, mikä Mt Palomin tähtitornin jättiläiskaukoputkella on voitu valokuvata. Mutta kun sen suunnasta kuuluu myös poikkeuksellisen voimakasta kohinaa radion jaksoluville, niin emme voi olla varmat siitä, että olemme tulkinneet kaikki havaintomme oikein.

Tähtijärjestelmien loittonemisnopeudet voidaan mitata varsin tarkasti, jos spektriviivojen siirtyminen tulkitaan Dopplerin ilmiön mukaan. Sen sijaan tähtijärjestelmien etäisyyksiä ei voi mitata; ne voidaan vain arvioida olettaen, että järjestelmien läpimitat ja kokonaiskirkkaudet ovat suunnilleen samat. Emme voi siis aivan tarkoin sanoa, millä tavalla nopeus riippuu etäisyydestä, mutta nykyisin käytetään suhdelukuna  $75 \text{ km/sek} \cdot 10^6 \text{ parsek}$ . Tämä viittaa siihen, että tähtijärjestelmät ovat joskus hyvin kauan sitten lähteneet kuin räjähtämällä yhtäaikaan samasta paikasta. Missä tuo paikka oli, siitä meillä ei ole vähäisintäkään aavistusta. Varmastikaan me emme itse ole tuossa maailmankaikkeuden keskipisteessä. Omassa Linnunradassammekin olemme lähempänä reunaa kuin keskustaa. Mutta joka tapauksessa olemme niin kaukana maailmankaikkeuden laidasta, ettemme edes tiedä, mihin suuntaan laita olisi lähinnä.

Sen sijaan voimme laskea, milloin tapahtui tuo alkuräjähdyksen. Tosin ensimmäiset laskelmat tuottivat ikäviä pettymyksiä. Saatiin tulokseksi, että maailman-

kaikkeus olisi lähtenyt alkupisteestään 1800 miljoonaa vuotta sitten. Sitä oli vaikea ymmärtää, kun yksin maapalloltakin oli löytynyt kallioita, jotka radioaktiivisuuteen perustuvien iänmääritysten mukaan olivat vanhempia. Vielä vanhempia ovat tietenkin Maan sula ydin, Aurinko, meidän oma Linnunratamme ja muut tähtijärjestelmät. Olisivatko ne voineet syntyä ennen alkuräjähdyttä ja säilyä tuhoutumatta sen lävitse? Mutta aivan viime vuosina on löytynyt virheitä tähtijärjestelmien etäisyydenmääritysmenetelmistä, ja vaikkakin uudet laskelmat ovat vielä keskeneräiset, niin yllämainitusta suhdeluvusta voimme päätellä, että alkuräjähdyksen on tapahtunut noin kolmetoistatuhatta miljoonaa vuotta sitten.

Merkitsikö alkuräjähdyksen todella maailmankaikkeuden luomista, aineen syntyä tyhjiydestä? Vai oliko alkuräjähdyksen samalla vanhan maailmankaikkeuden loppu, jossa vanhat taivaankappaleet tuhoutuivat samalla kun aineen ikuisista perushiukkasista alkoi kehittyä uusia? Voiko tähtijärjestelmien nykyinen loittoneminenkin hidastua, pysähtyä ja kääntyä putoamiseksi, joka vie vuorostaan nykyisen maailmankaikkeuden tuhoutumiseen ja seuraavan alkamiseen? Tällaisiin kysymyksiin on ainoa varma vastaus: emme tiedä. Se ei kuitenkaan estä meitä jatkamasta seuraavissa luvuissa ajatuksenleikkiämme. Mutta käytämme niissä aivan vastakkaista tutkimusmenetelmää: laadimme ensin matemaattisen teorian ja katsomme jälkepäin, kuinka se sopii havaintotuloksiin.

## Kaareva avaruus

Ihmisen on hyvin vaikea käsittää, mitä tarkoitetaan avaruuden kaarevuudella, koska hän ei voi mennä eikä edes voi nähdä avaruuden ulkopuolelle. Meillä on selvä mielikuva kaarevasta pinnasta, koska me voimme nähdä, että pinnan ulkopuolella on muutakin, mutta sokealla madolla, joka ryömiä pintaa pitkin, ei tällaista mielikuvaa voisi olla. Älykäs mato voisi kuitenkin suorittaa mittauksia pitkin pintaa. Se voisi ottaa 12 yhtä pitkää karvaa ja rakentaa niistä 6 kolmiota, joilla on keskustassa yhteinen kärkipiste. Jos kuvion ympäri kiertävän säännöllisen kuusikulmion viimeinen karva osoittautuu liian pitkäksi, mato voisi keksiä sanontatavan, että pinta on pallomaisesti kaareva. Jos viimeinen karva on liian lyhyt, pinta on kaareva niin kuin satula. Mutta jos mato ei halua kuvitella kaarevaa pintaa, se voi yhtä hyvin sanoa, että karvat venyvät tai kutistuvat, kun niitä siirrellään.

Jos mato ei ole sokea, niin se heti näkee, että pinta on kaareva. Silti sen ei tarvitse vielääkään *uskoa* pinnan kaarevuuteen, sillä se voi väittää, että pinta on taso mutta valo kulkee kaarevaa rataa. On vain laskuteknillinen seikka, mitä pidetään kaarevana, mitä suorana.

Ihminen voi suorittaa omassa avaruudessaan hyvin monenlaisia mittauksia mittalangoilla ja -tangoilla, valonsäteillä, kelloilla ja niin edespäin. Jos mittaukset eivät anna niitä kauniita tuloksia, joita EUKLEIDEEN geometrian mukaan pitäisi saada, voidaan aina selittää, että mittatangot venyvät ja kutistuvat ja tai-

puvat, että valo kulkee kaarevaa rataa, että kellojen käynti muuttuu ja niin edespäin. Kysymys on vain siitä, minkälainen selitys on helpoin panna matemaattisen kaavan muotoon, ja mikä on pienin määrä erilaisia kaavoja, joilla voitaisiin esittää kaikki mittauksien paljastamat «luonnonlait».

EINSTEININ mielestä helpoin ja taloudellisin tapa panna luonnonlait matemaattiseen muotoon on suhteellisuusteoria, mutta se ei ole ainoa mahdollinen teoria. Se on ennustanut outoja mittaustuloksia, ennen kuin vastaavia mittauksia oli arvattu tehdäkään, mutta toiselta puolen se ei selitä kaikkea, mitä on havaittu. Kun siis suhteellisuusteoria väittää, että avaruus on kaareva, niin ei kenenkään ole pakko uskoa siihen.

Kun EINSTEIN kehitteli suhteellisuusteoriaansa, ei tunnettu vielä kaukaisten tähtijärjestelmien spektriviivojen punasiirtymistä eikä siis myöskään ajatusta maailmankaikkeuden laajenemisesta. Siitä syystä hän koetti rakentaa sellaisen avaruusmallin, joka olisi pysyvä siitä huolimatta, että yleinen vetovoimalaki pyrkii luhistamaan maailmankaikkeuden yhteen kasaan. Hän lisäsi suhteellisuusteorian kenttäyhtälöihin yhden tensorin, jonka kertoimena on kuuluisa kosminen vakio. Tämän tensorin fysikaalinen tulkinta on seuraavanlainen. Maailmankaikkeudessa vallitsee yleinen työntövoima, niin että kaksi kappaletta pyrkii karkottamaan toisiaan voimalla, joka on suoraan verrannollinen niiden välimatkaan. Kun NEWTONIN keksimä vetovoima on kääntäen verrannollinen välimatkan neliöön, niin lyhyillä matkoilla vetovoima voittaa, pitkillä matkoilla työntövoima. On siis olemassa välimatka, jolloin molemmat voimat ovat tasapainossa. Jos oletetaan, että maailmankaikkeuden ainemäärä on tasaisesti jakautunut pallomaisesti kaarevaan avaruuteen, niin voidaan aineen keskitiheyden mukaan valita sellainen kosminen vakio, että koko avaruusmalli pysyy muuttumattomana, ei siis luhistu kokoon eikä laajene.

Pallomaisesti kaarevassa avaruudessa säteilyenergia ei ikinä pääse karkuun. Ellei se matkan varrella imeydy kohtaamiinsa atomeihin, niin se kiertää ympäri avaruuden ja palaa synnyinseuduilleen. Ne valonsäteet, jotka jokin tähti säteilee eri suuntiin, kohtaavat toisensa jo puolen kierroksen kuluttua avaruuden toisella puolella. Jos niitä on tarpeeksi paljon jäljellä, ne voivat muodostaa silminnähtävän kummitustähden, heikentyneen ja vääristyneen kuvan syntymätähdestään. Sopii kysyä, kuinka moni niistä epämääräisistä sumutäplistä, joita nyt näemme tähtitaivaalla, onkin vain haamukuva todellisesta tähtijärjestelmästä, jonka olisi voinut nähdä taivaan vastakkaisella puolella parikymmentätuhatta miljoonaa vuotta sitten.

Kun ajatus maailmankaikkeuden laajenemisesta tuli tunnetuksi, kiinnitettiin huomiota siihen, että se sopii erinomaisesti suhteellisuusteoriaan ja että samalla voidaan selittää paremmin myös tähtijärjestelmien synty. EINSTEININ avaruusmalli nimittäin edellyttää ehdotonta ja täsmällistä tasapainoa joka hiukkasen kohdalla; jos yksikin hiukkanen horjahtaa paikaltaan, koko rakennelma särkyy. Monessa kohdassa voittaa vetovoima, tasainen ainepilvi lohkee kappaleiksi ja kappaleet tiivistyvät linnunradoiksi ja yksityisiksi tähdiksi. Linnunratasikermien

välillä taas voittaa työntövoima, ja maailmankaikkeus kokonaisuudessaan alkaa laajeta. Tasapainon särkyminen tapahtuu kuitenkin aluksi niin hitaasti, että koko historia vaatii suunnattoman pitkän ajan. Tämän parannetun avaruusmallin mukaan maailmankaikkeuden aine oli jakaantuneena tasaiseksi pilveksi äärettömän kauan sitten.

Suhteellisuusteorian kenttäyhtälöillä on kuitenkin toisenlaisiakin ratkaisuja, joista ehkä mielenkiintoisin on LEMAITREN—EDDINGTONIN avaruusmalli. Maailmankaikkeudella on siinä tarkka syntymähetkensä, jolloin kaikki aine luotiin yhdellä kertaa yhdessä ainoassa pisteessä. Ainehiukkaset saivat valtavan räjähdysmuodossa erilaisia alkunopeuksia, mutta niiden keskinäinen vetovoima vähitellen jarrutti laajenemisluketta, kunnes se oli melkein pysähdyksissä. Mutta silloin oltiinkin jo sen olotilan kohdalla, jossa kosminen työntövoima ja vetovoima ovat tasapainossa kuten alkuperäisessä EINSTEININ avaruusmallissa, ja tämän pysähdysvaiheen aikana syntyivät linnunradat. Ne ryömivät kuitenkin hitaasti kriittisen rajan ylitse, ja kosminen työntövoima sai ylitteen. Maailmankaikkeus ryhtyi siis jatkamaan laajenemistaan, mutta tällä kertaa kiihtyvällä vauhdilla.

Tämän avaruusmallin etuna on eräs tärkeä lisäpiirre. Maailmankaikkeuden syntymähetkellä vallitsi kaikkialla niin suuri paine ja lämpötila, että atomiytimissä riitti energiaa niihin monivaiheisiin reaktioihin, jotka raskaiden alkuaineiden valmistamisessa ovat tarpeen. Jos tällaista alkuräjähdyttä ei olisi ollut, niin rautaa, kultaa, uraania ym. arvokkaita metalleja ei voisi olla muualla kuin niiden paikkojen lähellä, joissa joskus on leimahtanut hyvin harvinainen supernova-tyyppinen tähti.

Kaikki nämä ja muutamat muutkin avaruusmallit, joissa maailmankaikkeus vuoroin laajenee, vuoroin kutistuu, kehitettiin alun perin suhteellisuusteorian pohjalta pallomaisesti kaarevia avaruuksia varten. Ei siis oikeastaan ole kysymys linnunratain absoluuttisista liikkeistä jonkinlaisessa pysyvässä vertausjärjestelmässä, jollaista esittäisi edellisessä luvussa käsitelty NEWTONIN laatikkomainen avaruus, vaan siitä, että avaruuden kaarevuussäde kasvaa tai pienenee. Voimme verrata tällaista avaruutta kumipalloon, jonka pinnassa linnunradat ovat kiinni niin kuin suuret hiekkajyvät. Kun palloon puhalletaan ilmaa, pallo laajenee ja hiekkajyvät loittonevat toisistaan, vaikka pysyvätkin paikallaan pallonpinnan suhteen eivätkä itse laajene.

Mutta avaruusmalleja voi kehittää matemaattisesti muistakin perusajatuksista kuin pallomaisesti kaarevista pinnoista lähtien. Otamme nyt yhtenä esimerkkinä MILNEN kehittämän kinemaattisen suhteellisuusteorian.

Kuvitelkaamme, että maailmankaikkeudessa atomiväriähdykset tapahtuvat kaikkialla samassa tahdissa kuin kellot, jotka näyttävät samaa absoluuttista maailmanaikaa. Kellot läksivät yhtäaikaan käymään hetkellä nolla, joka vastaa siis maailmankaikkeuden syntymää ja joka oli noin kolmetoistatuhatta miljoonaa atomivuotta sitten. Maailmankaikkeuden koko ainemäärä syntyi silloin yhtenä pienenä tavattoman tiheänä nestepisarana, joka alkoi heti laajentua. Jostain valitusta hiukkasesta nähtynä toiset hiukkaset loittonevat nopeuksilla, jotka ovat

verrannolliset niiden etäisyyksiin, mutta kaikkein kaukaisimmat loittonevat valonnopeudella. Näin ei mikään säteily pääse pois maailmankaikkeuden sisältä.

Suhteellisuusteorian mukaan loittonevat kappaleet näyttävät litistyneiltä, kun niitä tarkastellaan kiinteästä pisteestä. MILNEN avaruusmallissakin nesteen tiheys näyttää pienimmältä jokaisen havaitsijan lähiympäristössä, kun taas maailmankaikkeuden reunalla tiheys näyttää aina olevan äärettömän suuri. Mutta lähiympäristössä tiheys edelleen vähenee koko ajan nesteen yleisen laajenemisen vuoksi, jonka vuoksi myös vetovoimakenttä heikkenee. Nyt MILNE tekee ns. MACHIN periaatteen nojalla sen johtopäätöksen, että todellisessa maailmankaikkeudessa taivaankappalten vetovoima ja inertia myöskin heikkenevät, vaikka hänen teoreettinen avaruusmallinsa sisältääkin vain tasaisesti jakautunutta nestettä eikä kiinteitä taivaankappaleita.

Itse asiassa MILNE vain ennustaa, että todellisessa maailmankaikkeudessa planeettain kierto- ja pyörimisliikkeet samoin kuin heilurin ja vieterienkin liikkeet hidastuvat, kun aikaa mitataan atomivärähdyksiin perustuvilla kelloilla. Voisimme sanoa saman asian myös päinvastoin: elektromagneettiset värähdysliikkeet kiihtyvät, kun niitä mitataan tavallisilla vanhanaikaisilla kelloilla.

Mutta jos ryhdymme tutkimaan MILNEN avaruusmallia ottaen mittayksiköksi tavallisen kellon osoittaman ajan, saamme kokonaan toisenlaisen maailmankuvan. Kun menemme ajassa taaksepäin ja käytämme siis ajan mittaamiseen yhä lyhempiä vuosia, niin huomaamme, että maailmankaikkeuden luominen onkin tapahtunut äärettömän monta aurinkovuotta sitten. Kun tarkastelemme kaukaisinta tähtijärjestelmää, näemme valon, joka on lähtenyt liikkeelle jo silloin, kun atomivärähtelyt olivat hitaampia ja valo punaisempaa. Kaukaisten tähtijärjestelmien valon punasiirtymä saa näin toisenlaisen selityksen kuin DOPPLERIN antaman, eikä meidän tarvitsekaan olettaa, että ne ovat nopeassa liikkeessä pois päin. Tämä mekaanisella kellolla mitattu avaruus ei siis laajene. Mutta se ei myöskään ole euklidinen, niin kuin atomikellolla mitattu avaruus, vaan hyperbolisesti kaareva niin kuin satulapinta.

Nykyaikaisen tieto-opin kannalta teoria on pelkkää ajatuksen leikkiä, ellei se väitä mitään sellaista, mikä voitaisiin kokemuksen avulla osoittaa vääräksi. MILNEN teoriaan sisältyy tällainen mahdollisuus. Tähtitieteellisten kiertoaikojen ja atomikellojen vertaus voidaan suorittaa niin suurella tarkkuudella, että vuoden piteneminen yhdellä sekunnilla tulisi jo melko varmasti esille. Tämä vastaa noin kymmenesmiljoonasosan suhteellista tarkkuutta. Koska maailmankaikkeuden ikä on nyt noin kymmentuhatta miljoonaa atomikellon vuotta, niin tuhannen vuoden kuluttua tiedämme varmasti, tapahtuuko todellisuudessa MILNEN ennustamaa vuoden pitenemistä tai atomiprosessien kiihtymistä. Tekokuiden avulla kysymys voidaan ratkaista ehkä jo tämän sukupolven aikana.

## Avaruus ja aine

Nykyaikaisen kemian ensimmäisiä saavutuksia oli aineen häviämättömyyden laki. Tämä laki on syntynyt rohkean yleistyksen tietä, eikä sille voi saada täydellistä todistusta sen enempää matemaattisilla päättelyillä kuin kokeellisilla tutkimuksillakaan, mutta kun kokeet eivät milloinkaan osoittaneet, että ainetta voitaisiin luoda tai hävittää, aineen häviämättömyys hyväksyttiin periaatteena, josta vuorostaan voi tehdä muita päätelmiä. Aluksi lakia pidettiin niin tiukkana, että jokainen alkuaine erikseen katsottiin häviämättömäksi, toisin sanoen, alkuaineita ei voi muuttaa edes toisikseen. Vasta uudenaikainen ydinfysiikka pystyi ylittämään näin tiukan lain rajoitukset. Lisäksi keksittiin, että aineen häviämättömyyden lakia piti lieventää toisellakin tavalla; vaikka ainetta ei osata vielä hävittää kokonaan, niin osa siitä voidaan muuttaa energiaksi ja päinvastoin. Viimeksi mainittua keksintöä ei kuitenkaan tehty kemiallisessa laboratoriossa vaan matemaatikon laskupaperilla. Lähtien niistä periaatteista, jotka EINSTEIN oli omaksunut avaruutta, aikaa ja valonnopeutta koskevissa tutkimuksissaan, hän ikään kuin sivutuloksena teki tämänkin johtopäätöksen, joka vihdoin ensimmäisen atomipommin räjähtäessä sai pelottavan kokeellisen todistuksensa. Teorian avulla on osoitettu, että myöskin Aurinko, kaiken elämämme perusta, saa energiansa aineen häviämisestä.

Kun näin olemme joka tapauksessa joutuneet tinkimään aineen häviämättömyyden periaatteesta, niin ehkä olemme nyt valmiit pohtimaan kysymystä maailmankaikkeuden synnystä myös siinä mielessä, että se voi samalla merkitä aineen syntyä.

Tarkastelemme ensin sitä avaruusmallia, jonka mukaan maailmankaikkeus sai alkunsa kolmetoistatuhatta miljoonaa vuotta sitten tapahtuneesta räjähdyksestä. Voimme kuvitella, että hetkellä nolla kaikki nykyisen maailmankaikkeuden aine ja säteily oli puristunut hyvin pieneen tilaan ja lähti siitä räjähdysnomaisesti hajaantumaan kaikkiin suuntiin. »Radioastronomit» väittävät, että heidän havaintonsa tukevat tätä teoriaa.

Nyt herää siis kysymys, luotiinko aine tyhjästä hetkellä nolla vai merkitsikö tämä hetki vain siirtymistä aikakaudesta toiseen. Jos tämä hetki merkitsi samalla edellisen aikakauden päättymistä, jolloin kaikki tähtijärjestelmät tuhoutuivat valtavassa yhteentörmäyksessä, niin meidän ei tarvitsisi lainkaan tinkiä aineen häviämättömyyden laista. Mutta aivan yhtä hyvin voimme kuvitella, että aikaisemmin ei ollut lainkaan aineellista maailmankaikkeutta. Edellinen kuvitelma merkitsee sitä, että maailmankaikkeus on äärettömän vanha, jälkimmäinen sitä, että aineellisella maailmalla on äärellinen ikä. Koska emme osaa kuvitella, että aine syntyi itsestään tyhjästä, niin uskomme, että luomisen suoritti ikuinen henkiolento.

Olipa kysymys luomisesta tai vanhan maailmankaikkeuden perinnöstä, uuden maailmankaikkeuden peruspääomaan kuului aineen lisäksi valtava määrä ener-



giaa, joka ilmeni alkuräjähdyksenä ja avaruuden laajenemisliikkeenä. Teoreettisen fysiikan laskukaavoissa tätä energiaa pidetään negatiivisen vetovoimaenergian vastasuureena. Jos kaksi kappaletta on kaukana toisistaan, niillä on kyky tehdä mekaanista työtä putoamalla yhteen; tällä tavallahan punnukset pitävät kelloja käynnissä ja järvien vedet pyörittävät putouksiin sijoitettuja voimalaitoksia. Tämä työkyky on pieni, kun kappaleet ovat jo yhdessä, mutta fysiikan kaavojen mukaan vetovoiman energialla on silloin suuri negatiivinen arvo. Negatiivinen arvo saadaan erittäin suureksi, jos kappaleet sulautuvat yhteen ja puristuvat hyvin pieneen tilaan.

Kun aineen lepomassa jo sellaisenaan vastaa EINSTEININ kaavan mukaan positiivista energiaa, niin aineen luominen ei välttämättä merkitse kokonaisenergian muutosta, sillä jos aine syntyy hyvin tiukkaan puristuneena kappaleena, niin sen lepomassa ja sen negatiivinen vetovoimaenergia yhteenlaskettuina voivat antaa arvon nolla. Näin tulkittuna aineen ja energian häviämättömyyden periaate on pikemminkin kirjanpitomenetelmä kuin luonnonilmiöiden selitys. Joka tapauksessa se voidaan ilmaista matemaattisella yhtälöllä, ja maailmankaikkeuden syntyteoriat käsittelevät yhtälöitä, eivät ainetta ja energiaa »todellisuudessa». On vain pidettävä huolta siitä, että yhtälöistä ei seuraa päätelmiä, jotka olisivat ristiriidassa havaittujen ilmiöiden kanssa.

JORDAN on kehittänyt aineen syntymisestä teorian, jonka yhtenä lähtökohtana on aineen ja energian häviämättömyyden periaate näin muunnetussa muodossa. Siinä on myös joukko muita lähtökohtia; mm. hän käyttää pituuskvantin ja aikakvantin käsitteitä, joista puhumme enemmän seuraavassa luvussa. Hän otaksui, että aineen synty ei ole poikkeuksellinen tapahtuma, joka olisi sattunut vain kerran hetkellä nolla tai äärettömän kaukaisessa menneisyydessä, vaan että uutta ainetta syntyy kaikkina aikoina.

JORDANIN teorian mukaan ensimmäinen luomistapahtuma oli varsin vaatimaton: hetkellä nolla syntyi vain kaksi neutronia, mutta niitä tuli nopeassa tahdissa ja kasvavin annoksin lisää. Kymmenen sekuntia myöhemmin maailmankaikkeudessa oli jo biljoona pienoistähteä, jotka yhteen koottuina olisivat melkein jo voineet muodostaa nykyisen Kuun. Luominen jatkuu vielä nykyisinkin, tosin harvemmin mutta sitä juhlavammin. JORDANIN laskujen mukaan jokaisessa linnunradassa pitäisi kerran sadassa vuodessa havaita tällainen iloinen perhetapahtuma, supernova, jossa linnunrata saa yhden jäsenen lisää. Nykyisen käsityksen mukaan supernova on kuitenkin tähden kuoleman eikä sen syntymisen ilmaus, ja havaintojen mukaan supernovat ovat paljon harvinaisempia kuin JORDANIN teorian mukaan. JORDANIN teorian yksityiskohtia pidetään siis virheellisinä, mutta ajatus jatkuvasta luomisesta on osoittautunut hedelmälliseksi.

BONDI ja GOLD ovat esittäneet kuvitelman, josta käytetään nimitystä steady state theory, pysyvän olotilan teoria. Sen lähtökohtana on niin sanottu täydellinen kosminen periaate: maailmankaikkeus on kaikkina aikoina ja jokaisesta pisteestään tarkasteltuna samanlainen. Sen täytyy siis olla ääretön, koska äärellisessä maailmankaikkeudessa toiset tähtikunnat olisivat keskellä, toiset reunalla,

ja koska pallomaisesti kaarevan avaruuden säde havaintojen mukaan kasvaisi koko ajan. Äärettömässä maailmankaikkeudessa tosin vanhojen tähtijärjestelmien välimatkat suurenevät lakkaamatta, mutta yleiskuva pysyy aina samanlaisena, sillä vanhojen järjestelmien tyhjeneviin väleihin syntyy koko ajan uutta ainetta, josta vähitellen tiivistyy uusia järjestelmiä. BONDI korostaa erityisesti sitä seikkaa, että uusi aine syntyy tyhjästä, ei siis säteilystä, ja että aineen häviämättömyyden periaate ei pidä paikkaansa. Aineen syntymistä ei ole vain huomattu aikaisemmin eikä sitä huomata vastedeskään, sillä se tapahtuu erinomaisen hienosti: yksi vetyatomi vuodessa suuren kirkon kokoista avaruudenosaa kohti. Linnunratojen välissä on kuitenkin niin paljon tilaa, että tämä luomisnopeus riittää korvaamaan sen aineen harvenemisen, jonka aiheuttaa avaruuden havaittu laajeneminen.

Pysyvän olotilan teoria tuli yleisemmin tunnetuksi vasta HOYLEN ansiosta, joka tosin itse päätyi siihen vaikeatajuisempaa tietä, nimittäin kirjoittamalla yhden tensorin lisää suhteellisuusteorian kenttäyhtälöihin, mutta joka esitelmillään ja kirjoillaan osasi helppotajuisemmin kuvata lopputulosta. Tämä HOYLEN lähtökohta toi esille enemmän teknillisiä yksityiskohtia kuin BONDI ja GOLDIN käyttämä liian yleisluonteinen kosminen periaate. Toiselta puolen se vältti JORDANIN teorian heikon puolen, lähtökohtien liian runsauden, josta seurasi niin paljon teknillisiä yksityiskohtia, että niitä oli jo vaikeampi sovittaa tosiasioihin.

Pysyvän olotilan teorian mukainen avaruus on geometrisilta ominaisuuksiltaan hyperbolisesti kaareva. Kaukaisissa tähtijärjestelmissä mekaaniset liikkeet ja atomiprosessit näyttävät käyvän hitaammin, mutta itse järjestelmät loittonevat toisistaan kiihtyvällä nopeudella. Kahden järjestelmän välimatka kasvaa lopulta nopeammin kuin valo etenee; sen jälkeen toisen linnunradan havaitsijat eivät voi saada mitään tietoa toisen kohtaloista. Tämä ei merkitse siis sitä, että toinen tähtijärjestelmä yhtäkkiä häviäisi toisen taivaalta; jos olisi kyllin voimakkaita kaukoputkia, nähtäisiin loittoneva järjestelmä vielä myöhemminkin vaikkakin yhä himmeämpänä ja punaisempänä. Mutta toisen järjestelmän kellot näyttäisivät toisesta katsottuna yhä hitaammin lähestyvän sitä hetkeä, jolloin välimatkan kasvunopeus havaitsijan oman kellon mukaan ylitti valonnopeuden.

Käytännössä kuitenkin näyttää siltä, kuin tähtijärjestelmät häipyisivät taivaalta toinen toisensa jälkeen tuntemattomaan kaukaisuuteen, mutta kun uusia syntyy yhtä mittaa, niin yleiskuva ei muutu. Näkyvä osa maailmankaikkeutta on kuin suuri maalaiskoti, josta joka vuosi lähtee lapsia maailmalle, mutta uusia syntyy tilalle. Niin kuin lapsetkin kuolevat aikanaan, kuka kauempana, kuka lähempänä synnyinseutuaan, samoin linnunradat luultavasti saavuttavat fysikaalisessa kehityksessään sellaisen olotilan, että niitä läheltäkin katsoen on pidettävä sammuneina. Tällaisesta tilasta olisi vaikea saada havaintotietoja, eikä teoriakaan ole rohjennut lähteä niin hyödyttömään ajatuksenleikkiin kuin linnunratojen sammumisen selvittelyyn. Antaisiko vuoden 1963 suuri löytö, räjähtävät linnunradat, pohjaa uusille teorioille aineen rappeutumisesta ja uudelleen syntymisestä?

## Ääretön vai äärellinen

Edellisissä luvuissa olemme tarkastelleet tärkeimpiä niistä kosmogonisista teorioista, joita tähän mennessä on esitetty maailmankaikkeuden synnystä ja kehityksestä. Yleiskatsauksen vuoksi on nyt syytä suorittaa pieni luokittelu. Erotamme kaksi vastakkaista periaatetta, toisen mukaan syntyy alinomaa uutta ainetta, toisen mukaan ainemäärä pysyy muuttumattomana. Erotamme myös kaksi kehitystyyppiä, joista voisi käyttää nimityksiä alkupisteellinen ja aluton. Näin saamme neljä erilaista luokkaa, joihin useimmat teoriat voitaisiin ryhmittää.

Alkupisteellisen jatkuvan luomisen teorian on kehittänyt JORDAN. Sen mukaan maailmankaikkeus alkoi tyhjästä. Noin 13 tuhatta miljoonaa vuotta sitten syntyi ensimmäinen yksinäinen atomi, mutta hyvin nopeassa tahdissa ja yhä suurenevin annoksin ainetta tuli lisää. Alkupisteetöntä jatkuvaa luomista edustavat pysyvän olotilan teoriat. Niiden mukaan uusi aine syntyy aina hyvin huomaamattomasti yksi vetyatomi kerrallaan, ja näin syntyneestä tausta-aineesta tiivistyy uusia tähtikuntia sitä mukaa kuin entiset loittonevat näköpiirimme ulkopuolelle. Maailmankaikkeus pysyy siten aina suurin piirtein samankaltaisena.

Useimmat teoriat voidaan lukea siihen luokkaan, jossa uutta ainetta ei synny, mutta maailmankaikkeus alkoi yhdessä alkupisteessä noin 13 tuhatta miljoonaa vuotta sitten tapahtuneesta räjähdyksestä. Siitä huolimatta ainetta voidaan pitää ikuisena, koska mikään ei estä ajattelemasta, että alkuräjähdyksessä oli vain suunnaton yhteentörmäys, jossa edellinen maailmankaikkeus tuhoutui. Viimeiseen luokkaan jäävät avaruusmallit, joiden mukaan maailmankaikkeuden kehitys alkoi äärettömän kauan sitten ja joissa ainemäärä on pysyvä. Sellaisista olemme maininneet EINSTEININ ja LEMAITREN—EDDINGTONIN avaruusmallit.

Luokkajakomme ulkopuolelle jää MILNEN teoria, jossa tosin aine ajatellaan pysyväksi, mutta sitä olisi äärettömän paljon. Onko MILNEN maailmankaikkeudella alkuhetkensä vai onko se äärettömän vanha, riippuu vain siitä, millaisilla kelloilla aikaa mitataan.

Voidaanko »tieteellisesti» ratkaista, mikä näistä lukuisista avaruusmalleista olisi lähinnä »oikeata»? Havainnot voivat osoittaa, että jokin malli on selvästi väärä. Mutta havainnot ovat vielä epätäydellisiä ja epätarkkoja, esimerkiksi ei voida sanoa, onko avaruuden laajenemiseksi tulkittu ilmiö tasaista, kiihtyvää vai hidastuvaa, vaikka tämä seikka jo ratkaisisi monen avaruusmallin todenmukaisuuden.

Lisäksi on eräs kysymys, jota havainnot eivät voi milloinkaan ratkaista, nim. kysymys äärettömästä. Me voimme vain kuvitella ääretöntä samalla tavalla kuin me kuvittelemme kokonaislukujen joukkoa: oli  $N$  kuinka suuri luku tahansa, aina voidaan kuvitella myös luku  $N + 1$  tai  $2 \cdot N$  tai  $N \cdot N = N^2$  tai jopa  $N^N$  jne. Matemaatikot sanovat *potentiaalisesti äärettömäksi* sitä »raja-arvoa» tai oikeammin raja-arvon puutetta, mihin pyritään tällaisella kuvittelulla, mutta onko todellisuudessa »aktuaalisesti ääretöntä», siitä jo parhaat asiantuntijatkin ovat jyrkästi eri mieltä. Maallikko vain ihmettelee, että esim. CANTORIN oppi äärettömistä jou-

koista on yhden matemaatikon mielestä nerokas keksintö, toisen mielestä aivan järjetön. Selitetään, että eräät logiikan lait eivät ole päteviä äärettömän alueella; sen tähden ääretön ei ole mikään looginen välttämättömyys. Voidaanko osoittaa, että ääretön on looginen mahdottomuus? Silloin voisimme avaruusmalliemme perusteella pitää yksimielisesti selvitettynä ainakin avaruuden likimääräisen koon: sen säde on kertaluokkaa  $10^{13}$  valovuotta.

Myöskin äärettömän pieni on pelkkää kuvittelua. Me voimme halkaista perunan tai elohopeapisaran yhä pienemmiksi hiukkasiksi, kunnes hienoinkin veitsi alkaa olla liian tylsä jatkamaan paloittelua. Pienimpiä ainehiukkasia ei voida nähdä, koska valon aallonpituus jo asettaa tietyn rajan; hyvin pienen hiukkasen koko energiavarasto ei enää riittäisi havaittavan valomäärän lähettämiseen. Oli merkittävä mielikuvituksen saavutus, kun kreikkalaiset filosofit aavistivat »atomien» eli jakamattomien hiukkasien olemassaolon, ennen kuin valo-opin perusteitakaan tunnettiin; ehkä heille atomit olivat looginen välttämättömyys. Mutta samanaikaisesti heidän matemaattikkonsa osasivat kuvitella geometrisen pisteen. Nykyisen matematiikan mahtavin ase, differentiaalilaskenta, perustuu kokonaan kuvitelmaan, että hyvin pieni suure voidaan aina jakaa vielä pienemmiksi osiksi. Se ei siis kelpaakaan teorian rakentamiseen, koska tällaisella teoriolla ja aineellisella maailmankaikkeudella ei ole rakenteellista yhtäläisyyttä. Vasta viime vuosikymmeninä on kehitelty soveliaampia matemaattisia apuneuvoja, geometrioita, joissa esiintyy vain äärellinen määrä elementtejä, aaltofunktioita, joilla on diskreettejä ominaisarvoja jne.

Tällaisia teorioita laadittaessa olisi tarpeen tietää, mikä olisi sellainen pienin mahdollinen välimatka, jota lyhyempää ei käytännössä voida havaita eikä teoriasa tarvita. Siitä ollaankin nykyisin jo varsin yksimielisiä: pienimmän ainehiukkasen tai oikeammin sanottuna pienimmän aineellisen vaikutuspiirin läpimitta on noin biljoonasosa millimetriä. Tämä on eräänlainen pituuskvantti; aika, jossa valo etenee tällaisen matkan, on pienin mahdollinen aikakvantti.

Siis pisteen tasainen liike on myös vain matemaattinen kuvitelma, jolle luonnossa ei ole vastinetta. Aikaisemmin sanottiin: luonto ei tee hyppäyksiä. Sanontatapa syntyi kehitysopin piirissä, mutta myöhempi kehitysoppi äkillisine mutatioineen ja nyt myöskin fysiikka atomeineen ja kvantteineen vievät juuri päinvastaiseen käsitykseen: luonto ei tee mitään muuta kuin hyppäyksiä.

Mutta voidaanko valokvantin tai ainehiukkasen etenemistä kuvitella edes tällaisen lähes-pistemäisen kappaleen hyppiväksi liikkeeksi? Kun hiukkasia lähtee jostain koe-esineestä ja kun niiden osuminen johonkin toiseen koe-esineeseen todetaan, niin voimmeko luontaisen käsityksemme mukaan kuvitella, että jokainen niistä on matkansa varrella ollut vuorollaan jokaisella pisteiviivaisen ratansa portaalla, jolla se olisi ehkä myös voitu pysäyttää tai tarkastaa? Voiko hiukkasia rennastaa kuin muuttolintuja, jotta voisimme tarkoin sanoa, kuinka ne vaeltavat?

Nykyinen käsitys, jota tukevat sekä kokeet että looginen välttämättömyys, on aivan toisenlainen. Hiukkasilla ei ole yksilöllisyyttä. Kun hiukkanen lähtee liikkeelle, se muuttuu todennäköisyysaalloksi, joka leviää kaikkiin suuntiin. On ta-

vallaan sattumaa, missä aalto muuttuu takaisin hiukkaseksi. Me ikään kuin panemme markan pankkiin Helsingissä, ja kun nostamme markan Oulun konttorista, se ei suinkaan ole sama markka. Vain liikkeellä olevien markkojen lukumäärä voi olla kirjanpitoimme kohteena.

Kuinka monta hiukkasta on kaiken kaikkiaan liikkeellä aineellisessa avaruudessa? Tällaista rohkeata kysymystä ei tietääkseni kukaan muu ryhtynyt pohtimaan ennen EDDINGTONia. V. 1946, pari vuotta tekijänsä kuoleman jälkeen, ilmestyi painosta EDDINGTONin *Fundamental Theory*, joka koetti selittää yhtäaikaa kaikki uusimmat käsitykset avaruuden laajenemisesta ja alkeishiukkasista, pituuskvantista, hiukkasten epäyksilöllisyydestä, massavetovoiman ja avaruuden ainetiheyden välisestä suhteesta jne. Tuloksena oli merkillinen väite, että eräät suhdeluvut, luonnonvakiot, jotka siihen mennessä oli laskettu vaivalloisten kokeiden ja havaintojen perusteella, saattaa johtaa teorian avulla melkein tyhjästä. Ainoa lähtöarvo, joka otettiin luonnosta, oli luku 4, avaruuden ja ajan ulottuuksien yhteenlaskettu lukumäärä.

EDDINGTONin teorian mukaan elektronien ja protonien summa maailmankaikkeudessa on 80-numeroinen luku, jonka voi esittää lyhyesti muodossa  $204 \cdot 2^{256}$ . Vaikka laskun perustana on HEISENBERGIN epätarkkuusperiaate, niin sen avulla EDDINGTON laski tarkasti tuon suunnattoman luvun viimeisenkin numeron.

EDDINGTONin Perusteoria ei herättänyt erikoista sensaatiota. Toiset sanoivat varovasti, että he eivät kykene seuraamaan sen päättelyitä, toiset ilmaisivat epäluulon, että teoria oli keinotekoisesti pakotettu tiedettyjä tosiseikkoja vastavaksi. Luottamuksemme siihen kasvaisi, jos siitä voitaisiin johtaa uusia, ennen aavistamattomia tuloksia, jotka vasta jälkeinpäin vahvistettaisiin kokeellisesti. Mutta se seikka, että teorian perustana on melkein pä pienin mahdollinen määrä kokeisiin perustuvia tosiseikkoja, asettaa EDDINGTONin tieteen historiassa erikoisasemaan. Hän aloittaa uudelleen sen tutkimuslinjan, jonka viimeisin edustaja oli ehkä PYTHAGORAS ja jonka tilalle GALILEI loi uuden kokeellisen tieteen. On selvää, että vain tätä uudelleen aloitettua linjaa seuraten voidaan hakea tieteellistä vastausta kysymykseen: ääretön vai äärellinen.

Intian erakot olivat vakuuttuneet siitä, että perustotuudet saadaan selville *eristäytymällä* maailmasta ja syventymällä mietiskelyyn. Kreikkalaiset filosofit taas *lähestyivät* maailmaa mietiskelyn avulla; he loivat logiikan ja geometrian varmoina siitä, että ne kertovat ympäristöstämme enemmän kuin pelkkä havainto. Länsimainen ihminen antaa havainnoille ratkaisevan merkityksen, vaikka tietääkin, että ne ovat puutteellisia. Hän on kehittänyt myös logiikkaa ja matematiikkaa, milloin hyödyllisinä välineinä havaintojen järjestämiseksi ja kokeiden suunnittelemiseksi, milloin vain viehättävänä ajatuksen leikkinä. Näin hän on jo valloittanut melkein koko maailman ja aloittanut avaruuden valloituksen.

Mutta kreikkalaisen ja länsimaisen tieteen välissä ilmestyi historiaan uusi oppi, joka kysyy: mitä hyötyä on siitä, että ihminen valloittaa maailman, jos samalla maailma valloittaa ihmisen?

## KUINKA PLANEETAT OVAT SYNTYNEET?

Kirj. V. V. KOLHO†

### Johdanto

Kuten tunnettua on aurinkokunnan yhteisestä pyörimis- eli impulssimomentista 98 % planeetoilla ja vain 2 % Auringolla. Mekaniikan lain mukaan kappaleessa tahi systeemissä, johon ei vaikuta ulkopuolisia voimia, säilyy impulssimomentti tahi impulssimomenttien summa konstanttina, vaikka systeemissä sen sisällisten voimien vaikutuksesta syntyisikin muutoksia. Tästä voidaan päätellä, että planeettain massa on lähtöisin Auringosta, minkä johdosta Auringon alkuperäisen pyörimisnopeuden on täytynyt hidastua ollen sen kehänopeus ekvaattorilla nyt vain 2 km/s.

Kun Linnunradan tähdistä on valtava osa hitaasti pyöriviä Auringon kaltaisia tähtiä, voidaan olettaa, että niillä kaikilla on planeettoja ympärillään. Planeettojen syntyminen kuuluu niin ollen tähtien normaaliin kehitykseen ja siitä voidaan päätellä, että tähdet synnyttävät itse planeettansa.

Nuoret tähdet pyörivät nopeasti akselinsa ympäri sen vuoksi, että niillä ei vielä ole ainakaan täyttä lukumäärää planeettoja. Nopeimmin pyörivät sellaiset tähdet, joilla on ympärillään kaas- ja sumukehä, mikä voidaan päätellä niiden kirjoissa esiintyvistä emissioviivoista. Sellaisten tähtien kirjoluokkaa osoittavat kirjaimet varustetaan usein indeksillä *e*. Sellaisia tähtiä ovat luokkien O<sub>e</sub>, B<sub>e</sub>, A<sub>e</sub> ja F<sub>e</sub> tähdet.

Nopeimmin pyörivät B<sub>e</sub>-tähdet, joilla on joskus tavattu kehänopeuksia 500—600 km/s<sup>1</sup>. Suurimmat kehänopeudet B- ja A-tähdillä ovat suuruusluokkaa 400—500 km/s ja F-tähdillä noin 200—300 km/s. Mainitut arvot ovat mieluiten minimiarvoja, sillä tähtien kirjoista, joista nopeus määrätään, saadaan vain arvo tulolle  $v \sin i$ , jossa *i* on tähden akselin näköviivan kanssa muodostama kulma. Jos tähden akseli on näköviivan suuntainen, on  $\sin i = 0$  ja silloin ei kehänopeutta voida kirjosta määrätä.

On esitetty aikoinaan teorioita, joiden mukaan planeetat olisivat syntyneet Auringosta lähteneistä kielekkeistä. Mutta kun L. SPITZER 1939 julkaisi lyhyen matemaattisen tutkielmansa kielekkeiden mahdollisuudesta kondensoitua planeetoiksi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> S. HUANG and O. STRUVE, 1960. *Stars and Stellar Systems*, V. VI s. 326

<sup>2</sup> LYMAN SPITZER, 1939. *Astroph. J.* 90. s. 675

ja tuli tulokseen, että sellaisten kielekkeiden täytyy muutamassa minuutissa hajota avaruuteen, ei enää ole tällaisia hypoteeseja esitetty. Mutta kun sellainen hypoteesi pystyy parhaiten selittämään aurinkokunnan rakenteen, on mielestämme asiaa tarkastettava uudelleen vähän uudessa valossa.

Ensiksikin SPITZERIN laskelmat eivät saavuttaneet yksimielistä hyväksymistä. FRED HOYLE väitti, että Spitzer lähti vääristä olettamuksista.<sup>1</sup> H. JEFFREYS oli laskenut pilven adiabaattisen laajentumisen alentavan pilven lämpötilan niin nopeasti, että jo varhaisessa vaiheessa syntyy nestepisaroihin ja laajentumisen aiheuttava paine alenee silloin vastaavasti. A. L. PARSON on päätellyt, että ei sängin pieni kaasun tiheyskään ole esteenä kondensoitumiselle ja että metallioksidit syntyvät ja voivat kondensoitua jo varhaisessa vaiheessa.

FRED HOYLE arvelee planeettakaasussa oksidaation kautta keveistä hiilivedyistä syntyvän öljyä ja pikeä, joka takerruttaa pölyhiukkasia toisiinsa.<sup>2</sup> Kuumassa pilvessä voi todellakin ns. synteetikaasusta, joka on vedyn ja hiilimonoksidin sekoitus, rautaoksidin läsnä ollessa syntyä bensiiniä (BERGIUKSEN ja FISCHER — TROPSCHIN synteetit), joka itsestään polymerisoituu raskaammiksi öljyiksi. Jos näin tapahtuu, voisi maaöljyä olla syntyperältään kosmista.

MARTIN DAVIDSON tutkii planeettain kondensoitumisen mahdollisuutta viitteissä mainitun teoksensa sivuilla 270—271 erään yhtälön avulla, joka määrittelee planeettapilven kondensoitumisehdot, ja sijoittaa yhtälöön, jonka hän ensin ratkaisee pilven tiheyden suhteen, vuoron perään nykyiset planeettojen massat, saaden tulokseksi, että suuret planeetat ja Maa ovat voineet kondensoitua. Marsin suhteen on asia epävarma, mutta Merkuriuksen ja Pluton kondensoituminen on mahdotonta, koska pilven tiheyden Auringosta lähtiessä olisi täytynyt olla lähellä veden tiheyttä. DAVIDSON tekee kuitenkin pahan virheen sijoittaessaan yhtälöön planeettain nykyiset massat protoplaneettain massojen asemesta. KUIPER on planeettain nykyisen kokoomuksen perusteella ja olettamalla, että protoplaneetat ovat alkuaan olleet aurinkoainetta, laskenut protoplaneettain massat seuraaviksi:<sup>3</sup>

Merkurius	1000 ×	nykyinen	massa
Venus	480 ×	»	»
Maa	480 ×	»	»
Mars	400 ×	»	»
Jupiter	90 ×	»	»
Saturnus	90 ×	»	»
Uranus	100 ×	»	»
Neptunus	100 ×	»	»

Kun nämä arvot sijoitetaan yhtälöön, joka on ratkaistu planeettapilven tiheyden suhteen ja jossa massa esiintyy yhtälön oikeanpuoleisen, tulonmuotoisen jäsenen

<sup>1</sup> MARTIN DAVIDSON, 1944. *From Atoms to Stars*, s. 251

<sup>2</sup> FRED HOYLE, 1955. *Frontiers of Astronomy*, s. 95

<sup>3</sup> G. P. KUIPER, 1956. *Vistas in Astronomy*, Vol. 2, s. 1631

nimittäjässä toisessa potenssissa, nähdään, että kuitenkin samassa suhteessa lasketut protopilvet olisivat voineet kondensoitua, vaikka alkupilven lämpötilakin otetaan korkeammaksi, kuin DAVIDSON olettaa.

Että SPITZERIN tulos massapilven räjähdysmäisestä hajaantumisesta avaruuteen muutamassa minuutissa ei pidä paikkaansa, osoittavat eräistä novista tehdyt visuaaliset havainnot. Novista on välistä nähty lähtevän valtavia massapilviä, joiden kulkua on voitu seurata useita kuukausia ilman, että ne olisivat räjähtämällä hajaantuneet avaruuteen. Nova Herculis (1934) -tähdessä lähti niin suuri kaasupilvi, että ensin luultiin tähden jakautuneen kahtia, kun puolen vuoden kuluttua nähtiin sen vieressä seuralainen. Myöhemmin saatiin valokuvatuksi seuralaisen kirjo, jolloin seuralainen osoittautui tähden valoa heijastavaksi tähtisumuksi.<sup>1</sup> Jonkun ajan kuluttua tällaiset pilvet kulkevat niin kauaksi tähdessä, että niiden valo himmenee ja ne lakkaavat näkymästä.

Planeettojen synnyttäjiä voivat olla vain HR-diagramman pääsarjan yläpäässä olevat nopeasti pyörivät valkeat jättiläiset, joilla on ympärillään jatkuvasti avaruuteen hajoava sumurengas. Kysymykseen voivat tulla myöskin ns. T-Tauri-tähdet, jotka ovat alijättiläisiä, koska ne yllämainitussa diagrammassa esiintyvät pääsarjan yläpuolella. Niillä on myöskin sumurengas ympärillään, joka todistaa niiden pyörivän nopeasti. Niiden kirkkaus vaihtelee todennäköisesti siitä syystä, että niiden pinnalla tapahtuu voimakkaita mullistuksia. Niiden otaksutaan HR-diagrammassa kehittyvän vasemmalle ja jossakin varhaisten F-luokan tähtien alueella yhtyvän pääsarjaan.

Että sumurengastähdet (engl. shell stars) ovat todella nuoria, todistaa niiden kuuluminen AMBARTSUMJAMIN keksimiin assosiaatioihin, joissa ne varsin todennäköisesti ovat syntyneet. Assosiaatioiden tähdet ovat kaikkiin suuntiin hajaantuvassa liikkeessä eivätkä ole vielä ennättäneet vaeltaa kauaksi syntymäsjailtaan. Hollantilainen BLAAUW on ensimmäisenä tutkinut sellaisten tähtien liikkeitä ekstrapoloimalla niiden kulkua taaksepäin ja huomannut jälkien johtavan lyhyessä ajassa lähelle toisiaan johonkin Linnunradan sumuun.<sup>2</sup> Perseuksen tähdistössä olevan O-assosiaation iäksi hän sai miljoona vuotta. Nykyään tunnetaan Linnunradassa yhteensä tuhatkunta assosiaatiota, joista ns. O-assosiaatiot sisältävät valkeita jättiläisiä ja T-Tauri-assosiaatiot tyyppitähtensä kaltaisia tähtiä. Assosiaatioiden iän on huomattu vaihtelevan miljoonasta viiteenkymmeneen miljoonaan vuoteen ja lyhyin todettu ikä on vain noin 100 000 vuotta, mikä todistaisi, että tähtiä syntyy jatkuvasti Linnunradan sumuissa.

Valkeat jättiläiset polttavat vetyään suurella nopeudella ja sitä paitsi tuhlaavat massaansa korpuskelisäteilynä noin  $10^{-6}$ — $10^{-5}$  × Auringon massan vuodessa. Suurempi arvo koskee Wolf-Rayet-tähtiä ja pienempi P-Cygni-tähtiä, jotka ovat eräs laji B<sub>e</sub>-tähtiä. Sitä paitsi tuhlaavat ainakin viimeksimainitut massaansa vielä räjähtelemällä novien lailla, jolloin nova menettää massaa  $10^{-6}$ — $10^{-4}$  × Auringon massa. Useimmat astrofyysikot ovat päätelleet, että suuret kuumat täh-

<sup>1</sup> V. A. AMBARTSUMJAM, 1957. *Theoretische Astrophysik*, s. 470

<sup>2</sup> GERARD DE VAUCOULEURS, 1956. *Discovery of the Univers*, s. 284

det ovat lyhytikäisiä ja ehkä kymmenessä tahi kahdessakymmenessä miljoonassa vuodessa muuttuvat valkeiksi kääpiötähdiksi. AMBARTSUMJAM<sup>1</sup> kuitenkin uskoo, että kun tähdet pääsevät eroon liiasta massastaan ja saavat planeettansa, ne muuttuvat rauhallisiksi keskisarjan tähdiksi ja ovatkin pitkäikäisiä. Useat neuvostoliittolaiset astrofyysikot ovat samaa mieltä, ja FESSENKOW ja MASSEVITSCH<sup>2</sup> ovat laatineet varsin tyydyttävän teorian, jonka mukaan tähtien kehityksen määrää niiden massan menetys ja ne liukuvat HR-diagrammassa alaspäin valkeita kääpiöitä kohti eivätkä kiipeä HR-diagrammassa ylöspäin, kuten pallosikermitä saaduista diagrammoista on voitu päätellä. Viimeksi mainittua tähtien kehitystä pitää ÅKE WALLENQUIST<sup>3</sup> myös hyvin hypoteettisena. PAYNE-GAPOSCHKIN<sup>4</sup> sanoo O. STRUVEN pitäneen tähtien kehitystä alaspäin HR-diagrammassa hyvinkin mahdollisena.

Kun käsityksemme mukaan tähdet synnyttävät planeettansa »Sturm und Drang» periodinsa aikana ja prosessi edellyttää myöskin suurta massan haaskausta, sopii FESSENKOWIN ja MASSEVITSCHIN teoria hyvin käsityksemme.

### Planeettain synnytys

Olemme jo maininneet, että planeettain synnyttäjinä tulevat kysymykseen räjähtelevät nuoret tähdet, joilla on sumu- ja pölyrengas ympärillään. Sellaisia tähtiä tunnetaan Linnunradassa suuri määrä ja niiden räjähdysisiä on rekisteröity useita. Ne voivat räjähdellä novien lailla, eikä niitä aina ole suurien etäisyyksien vuoksi voitu erottaa tavallisista novista. Niinpä räjähti P-Cygni-tähtien tyyppi-tähti itse P-Cygni v. 1600 niin suurella voimalla, että sitä kauan pidettiin tavallisena novana. Samoin teki  $\eta$  Carinae v. 1843, jolloin se loisti kirikkaampana kuin ensimmäisen luokan tähti. Samassa assosiaatiossa  $\eta$  Carinaen ohella on A. D. THACKERAY<sup>5</sup> tavannut vielä neljä samanlaista tähteä. Tällaisia tähtiä tunnetaan paljon, niistä mainittakoon lisäksi vielä  $\gamma$  Cassiopeiae ja Pleione, joita on paremmin tutkittu ja jotka HENRY DRAPERIN tähtiluettelon mukaan kaikki ovat B<sub>e</sub>-tähtiä.

Kun tähden sisuksissa tapahtuu tarpeeksi voimakas räjähdys, jonka syytä ei tarkkaan tunneta, mutta joka varmaankin on ydinreaktioiden aiheuttama, työntää sen synnyttämä paine tähdestä ulos valtavan määrän massaa supersolaarisena protuberanssina. Pienimmän vastuksen lakia noudattaen se hakee tiensä ulos tähdestä sen ekvaattorivyöhykkeeltä, jossa massa on keskipakovoiman vaikutuksen vuoksi löysässä ja suihkuua osittain tähden pinnalta muutenkin avaruuteen.

<sup>1</sup> V. A. AMBARTSUMJAM, 1957. s. 527

<sup>2</sup> V. G. FESSENKOW, 1949. *Astron. Journ.* U.S.S.R. Vol. 26, s. 67

A. G. MASSEVITSCH, 1949. *Astron. Journ.* U.S.S.R. Vol. 26 s. 207

<sup>3</sup> ÅKE WALLENQUIST, 1958. *Astronomi*, s. 224

<sup>4</sup> C. PAYNE-GAPOSCHKIN, 1956. *Introduction to Astronomy*, s. 475

<sup>5</sup> A. D. THACKERAY, 1956. *Vistas in Astronomy*, s. 1380

Räjähdyksen vaikutuksesta syntyneet paineaallot lyövät tähden pinnasta irti vielä novista tunnettuja kuoria.

Näin käsitetään nykyään novaräjähdykset, eikä meillä ole syytä otaksua nuorena tähdessä tapahtuvaa räjähdystä toisenlaiseksi.

Tähdestä lähteneestä pilvestä otaksumme planeetan kerrallaan mahdollisine kuineen syntyvän.

Tarkastamme nyt, kuinka suuren nopeuden tällaisen planeettapilven tulee saada, ettei se palaisi takaisin tähteen, jolloin planeetta ei tietenkään syntyisi.

Niin sanottu kriittinen kehänopeus on tähden ekvaattorilla silloin, kun massa-hiukkaseen vaikuttava painovoima on yhtä suuri kuin keskipakovoima.

$$\frac{mv^2}{r} = gm$$

$$v = \sqrt{gr}$$

Yhtälössä  $m$  on hiukkasen massa,  $v$  kehänopeus ekvaattorilla,  $r$  tähden säde ja  $g$  vetovoiman kiihtyvyys tähden pinnalla. Planeetan kiertoliikkeessä on nopeus  $v_s = \sqrt{gr}$  niin sanottu sirkulaarinen nopeus, jolla planeetta tai massapiste kiertäisi tähden ympäri ympyränmuotoista rataa etäisyydellä  $r$  tähden keskipisteestä. Pienin pakonopeus, jolla planeetta jättäisi tähden, on parabolinen nopeus

$$v_p = \sqrt{2gr}$$

Kaikki nopeudet sirkulaarisen ja parabolisen nopeuden välillä ovat elliptisiä nopeuksia

$$v_s < v_e < v_p$$

Planeetat kiertävät keskustähteänsä elliptisillä nopeuksilla, kauempana olevat pienemmällä ja lähempänä olevat suuremmilla nopeuksilla. Jos planeettapilvi lähtisi elliptisellä nopeudella tähden pinnalta, ei planeettaa syntyisi, sillä yhden kieroksen tehtyään pilvi palaisi takaisin tähteen, koska radan lähin piste, periastron, olisi tähden pinnalla tahi sen sisällä. Sen vuoksi planeettapilven on lähdettävä tähdessä vähintään parabolisella, mieluummin lievästi hyperbolisella nopeudella ja siis aluksi hyperbelin muotoiselle radalle.

Tarkastamme nyt, onko pilvellä mahdollisuus saada näin suurta nopeutta.

Laskemme ensin, kuinka suuret Auringon kriittinen ja parabolinen kehänopeus olisivat.

Auringon painovoiman kiihtyvyys sen pinnalla on 0,274 km/s<sup>2</sup> ja Auringon säde  $7 \times 10^5$  km.

Silloin

$$v_s = \sqrt{gr} = \sqrt{0,274 \times 7 \times 10^5} = 438 \text{ km/s}$$

ja parabolinen nopeus

$$v_p = \sqrt{2} \times 438 = 619 \text{ km/s}$$

Jos vertaamme näitä nopeuksia vastaaviin nopeuksiin sellaiselle tähdelle HR-diagramman yläpäässä, jonka massa olisi  $5 \times$  Auringon massa ja säde  $4 \times$  Auringon säde, saadaan vastaavat arvot:

$$g = \frac{5 \times 0,274}{4^2} = 0,0855 \text{ km/s}^2$$

$$v_s = \sqrt{0,0855 \times 4 \times 7 \times 10^5} = 488 \text{ km/s}$$

$$v_p = \sqrt{2} \times 488 = 690 \text{ km/s}$$

Esimerkistä näemme, että aikaisemmin mainitut, kirjoista lasketut kehänopeudet ovat usein varmaankin lievästi elliptisiä nopeuksia.

Tähdessä tapahtuva räjähdys voi silloin planeettapilville yhdessä kehänopeuden ja protuberanssin nousunopeuden resultanttina antaa lievästi hyperbolisen nopeuden.

Jos esimerkiksi tähden kehänopeus olisi 600 km/s ja protuberanssin nousunopeus samoin 600 km/s, olisi nopeuksien resultantti 850 km/s.

Ellei nyt tähden ympärillä olisi sumu- ja pölyrengasta, joka pienestä tiheydestään\* huolimatta jarruttaa valtavasti laajentuneen pilven nopeutta niin, että se jollakin etäisyydellä, kaukana tähdestä, alenee sillä etäisyydellä vallitsevaa parabolista nopeutta pienemmäksi, jättäisi pilvi tähden. Mutta heti kun nopeus on saavuttanut parabolista nopeutta pienemmän arvon, on pilvi elliptisellä radalla, jonka eksentrisyys on hyvin suuri. Silloin planeettapilvi vaeltaa kauaksi kylmään avaruuteen, ennenkuin sen rata kääntyy tähteen päin takaisin. Siellä kylmässä avaruudessa voi pilven kondensoituminen jatkua kaikessa rauhassa. Kun pilvi tulee tähden läheisyyteen, se läpäisee tähden kaasukehän sen ylemmissä kerroksissa, sillä sen radan periastron on myöskin kaukana tähdestä, kun pilvi on tullut lähetetyksi radalleen vähän samalla tavalla kuin tekokuut. Kaasukehä jarruttaa taas pilveä, minkä johdosta sen rataellipsin eksentrisyys pienenee joka kierroksella. Siten rata lähenee ympyrän muotoa samalla tavalla kuin tekokuun rata kuun pyyhkiessä ilmakehän ylempiä kerroksia, jolloin radan apogeum ensin lähestyy maata, ennen kuin perigeumin asemassa tapahtuu huomattavaa muutosta. Tähdien ympärillä pyörivä kaasurengas, jonka liike on sellainen, että sen hiukkaset kulkevat lievästi laajenevia spiraaliratoja myöten, koska pilvi hajaantuu avaruuteen, pyrkii taivuttamaan pilveämme omaan kulkusuuntaansa, koska siinä suunnassa pilven vastus on pienin. Kun planeettapilven rata on muuttunut lähes sirkulaariseksi, ei kaasurengas vastusta pilven kulkua enää, koska molemmilla on silloin suunnilleen sama nopeus.

\*) BURBIDGE ja BURBIDGE ovat määränneet tähdille, joiden akseli on näköviivan suunnassa, elektronitiheyden kymmenen säteen etäisyydellä tähdestä olevan  $N_e \sim 10^{13} \text{ g/cm}^3$ . ANNE B. UNDERHILL laskee renkaan hetkellisen massan, edellyttäen sen olevan vetyä jonka tiheys elektronitiheyteen perustuen on  $2 \times 10^{-11} \text{ g/cm}^3$ , olevan noin  $10^{-9}$  Auringon massaa. Kun rengas jatkuvasti hajaantuu avaruuteen ei sen suurimmasta läpimitasta voida puhua, mutta sen tiheys vähenee kääntäen verrannollisesti etäisyyden neliöön tähdestä.

Planeettapilvi alkaa pyöriä samaan suuntaan kuin tähti, koska siinä aluksi sen ulkosyrjällä, joka on lähtenyt tähden pinnalta tai läheltä sitä, on suurempi transversaalinen nopeus kuin tähden sisältä lähteneellä tähden puoleisella syrjällä. Kun pilvi ei ole lähtenyt tarkasti tähden ekvaattorilta, kallistuu tähden keskipisteen kautta kulkeva tulevan planeetan ratataso tähden ekvaattorin tasoon nähden yhtä monta astetta kuin sen pisteen leveysaste tähden pinnalla on, jolta planeettapilven painopiste on kohonnut. Niin muodoin voimme päätellä, että esimerkiksi Maa on eronnut Auringosta noin 7. leveysasteelta, mikä vastaa ekliptikan kallistumaa Auringon ekvaattoriin nähden. Impulssimomentin vaikutuksesta säilyttää planeetan ratataso suuntansa avaruudessa.

Planeetan ekvaattoritason suunta määräytyy siten, että sen kummallakin puolen sijaitsevien massahiukkasten impulssimomenttien summa tulee yhtäsuureksi. Kun pilvi vain harvoin voi olla symmetrinen, ei yleensä planeetan ekvaattori tule olemaan planeetan ratatasossa eikä planeetan akseli siis kohtisuorassa ratatasoa vastaan, vaan poikkeaa siitä enemmän tai vähemmän. Niinpä Maan akseli poikkeaa kohtisuorasta suunnasta noin  $23 \frac{1}{2}^\circ$ .

## Kuiden synty

Tähdessä purkautuva pilvi ei koskaan ole eheä, vaan repaleinen, kuten Auringosta purkautuvien protuberanssien on todettu olevan. Sillä saattaa olla siitä irronneita sivupilviä, jotka pienemmän massansa vuoksi saavat tähteen muodostuneesta kraatterista tulevasta puhalluksesta suuremman nopeuden kuin suurimassainen pääpilvi. Jos tällainen pilvi vaeltaa pääpilven ohi viimeksimainitun kulkusuuntaan nähden sen takapuolelta, voi siitä syntyä planeetalle oikeinpäin kiertävä kuu. Jos taas sivupilvi vaeltaa pääpilven ohi sen etupuolelta ja tarpeeksi kaukana siitä, syntyy retrogradinen eli väärinpäin kiertävä kuu. Jos se on liian lähellä repaleista pääpilveä syntyessään, voi viimeksimainittu kiittää sen itseensä eikä kuuta synny. Siitä syystä meidänkin aurinkokunnassamme retrogradiset kuut ovat aina kaukana planeetastaan. Poikkeuksen näyttävät tekevän Uranuksen kuut, jotka kirjojen mukaan kaikki viisi ovat retrogradisia, mutta kun, PAYNE-GAPOSCHKININ mukaan,<sup>1</sup> Uranus pyörii samaan suuntaan kuin sen kuut, eivät ne siis ole retrogradisia samassa mielessä kuin Jupiterin väärinpäin kiertävät kuut.

Jos satelliittipilvi sattuu ohittamaan pääpilven sen sivulta siten, että se kiittää pääpilven napojen yli, ei pääpilvi voi kääntää sitä ekvaattorinsa tasoon, niin kuin se voi alkuvaiheessa järjestellä toisia pilviä, ja syntyy epäsäännöllinen kuu.

Kaikkia näitä kolmenlaisia kuita on aurinkokunnassamme.

<sup>1</sup> C. PAYNE-GAPOSCHKIN, 1956. *Vistas in Astronomy*, s. 224

### Planeettain tiivistyminen

Kun planeettapilvi on tarpeeksi jäähtynyt, se alkaa painovoiman vaikutuksesta kutistua, jolloin impulssin säilymislain mukaan kierrosluku kasvaa. Samalla ko-  
hoaa planeetan lämpötila, jolloin sen keveiden kaasujen molekyylien nopeus kas-  
vaa niin, ettei planeetan vetovoima voi niitä enää pidättää. Pienemmät planeetat  
aurinkokunnassa ovat menettäneet kaikki keveät kaasunsa ja esim. Merkurius ve-  
denkin vesihöyryn muodossa. Auringon säteilylämpö on vaikuttanut samaan  
suuntaan kiihdyttäen kaasumolekyylien nopeutta. Isot planeetat suuremman  
painovoimansa ansiosta ovat voineet säilyttää valtaosan keveistä kaasuistaan,  
mutta kaikki ovat menettäneet niitä siinä suhteessa, kuin alussa luetellut KUIPERIN  
protoplaneettain kertaluvut osoittavat. Massan karkaaminen planeetoista on ai-  
heuttanut niiden kierroslukujen alenemisen. Siitä syystä aurinkokunnan isot pla-  
neetat, jotka ovat menettäneet massaansa vähemmän suhteessa protoplaneetta-  
massaansa kuin pienet planeetat, omaavat korkeamman kierrosnopeuden kuin  
pienet. Massan karkaamisen vuoksi planeetoista ovat kuut siirtyneet kauemmaksi  
planeetoistaan, kuin ne alkuaan olivat.

### Tapahtumat aurinkokunnassa

Käsityksemme mukaan on Neptunus vanhin tunnetuista planeetoista. Sen ny-  
kyinen massa on 17,26 ja protoplaneettamassa 100 kertaa suurempi eli 1 726  
Maan massaa. Auringosta lähtiessään se sai mukaansa impulssimomentin suuruu-  
deltaan  $mvR$ , jossa  $m$  on protoplaneetan massa,  $v$  Auringon kehänopeus ja  $R$  Au-  
ringon säde. Auringon impulssimomentin menetys hidastaa hiukan Auringon kier-  
rosnopeutta ja massan suihkutuspäättäjiltä väheni tai loppui joksikin ajaksi.  
Auringon kylkeen jäi suuri kartion muotoinen kraatteri, jonka syvyyksistä lähte-  
nyt adiabaattisesti laajeneva massa synnytti. Laajenemisen vuoksi oli massalla  
Auringon pinnalle saavuttuaan suunnilleen sama tiheys ja lämpötila, kuin mikä  
vallitsi Auringon pinnalla. Tällaisia kraattereita on havaittu välistä novissa, mm.  
silloin, kun niiden akseli on ollut enemmän tai vähemmän kohtisuorassa näkövi-  
vaa vastaan. McLAUGHLIN<sup>1</sup> mukaan niiden kautta on joskus nähty spektro-  
skoopilla syvälle tähden kuumaan sisukseen. Kraatterista tapahtui vielä jälkipu-  
hallus, kuten novissa on huomattu, jossa kaasujen nopeus on pakonopeutta pie-  
nempi ja kaasu niinmuodoin jää tähteä ympäröineeseen kaasukehään. Se mer-  
kitsi joka tapauksessa Auringolle massahukkaa. Auringon pinnasta on myöskin  
saattanut lähteä sellaisia »kuoria» räjähdysten seurauksena paineaaltojen irti  
lyöminä, kuin tunnetaan novissa.

Aurinko paikkaa kuitenkin ennen pitkää vaurionsa, kraatteri menee tukkoon,

<sup>1</sup> D. B. McLAUGHLIN, 1956. *Views in Astronomy*, s. 1483

Auringon pinta siliää, mutta sen läpimitta on samalla vähän pientynyt ja sen  
johdosta kierrosnopeus kasvaa entiselleen, mikä johtuu myöskin siitä, että nuori  
Aurinko kutistuu vielä jatkuvasti, mutta hitaasti painovoiman vaikutuksesta.

Jonkun ajan kuluttua tapahtuu uusi räjähdys ja syntyy Neptunuksen kaltainen,  
mutta hiukan pienempi planeetta Uranus, jonka alkumassa on 1 454 kertaa  
Maan massa. Se saa kokonaista viisi kuuta, kun Neptunukselle niitä syntyi vain  
kaksi.

Ennen kuin Uranuksen pilven kierrosnopeuden synnyttämä gyroskooppi-  
voima ennättää vakiinnuttaa pilven akselin suunnan, on pilven asento jonkinlai-  
sen turbulenssin vaikutuksesta ennättänyt kääntyä  $98^\circ$  niin, että pohjoisnavaksi  
aiottu napa on kääntynyt ratatason eteläpuolelle  $8^\circ$  ja pohjoisnavasta onkin tul-  
lut etelänapa. Sen tähden planeetta kuineen näyttää pyörivän väärinpäin eli re-  
trogradisesti.

Reaktiot Auringon sisällä kiihtyvät entistä voimakkaammiksi ja syntyy jätti-  
läisplaneetta Saturnus, jonka protoplaneetan suuruus on 8 577 kertaa Maan massa.  
Purkauksen voimaa osoittaa sekin, että planeetta saa 10 kuuta.

Mutta Auringon energia näyttää olevan maksimissa vasta seuraavan suurjätti-  
läisplaneetan synnytyshetkellä. Se on Jupiter, jonka protoplaneetan massa on ko-  
konaista 28 656 kertaa Maan massa ja kuuta on tullut kokonaista 12 kpl.

Jupiterin synnytyksellä Auringolle sellainen isku, että sen voima ei enää kos-  
kaan palautunut ennalleen. Se korjaa nytkin arpensa, sen kierrosluku kasvaa  
uudelleen, mutta ydinräjähdykset, jotka nyt seuraavat, ovat jo paljon pienempiä  
ja syntyy pienempiä planeettoja. Mars saa vielä kaksi pientä kuuta ja Maa yhden  
suuren, mutta Venus ja Merkurius jäävät ilman kuuta. Marsin, Maan, Venuksen ja  
Merkuriuksen protoplaneettain massat, luetellussa järjestyksessä, ovat 43, 480,  
390 ja 54 kertaa Maan massa.

Merkuriuksen synnytyksen jälkeen ei Auringon kehänopeus kasva enää kriitilli-  
seksi ja Aurinko on massan menetyksen vuoksi saavuttanut EDDINGTONIN laske-  
man säteilytasapainon, jonka ei nykyään uskota vallitsevan villisti pullistelevissa  
nuorissa tähdissä, jotka eivät vielä ole asettuneet HR-diagramman pääsarjaan ja  
rauhoituneet. Nyt, kun Aurinko on säteilytasapainossa, se ei enää kutistu, sen  
kierrosluku ei enää nouse eikä siinä tapahdu suuria räjähdyksiä. Kierrosnopeus  
on päinvastoin laskenut sen vuoksi, että Aurinkoa ympäröinyt sumukehä on ha-  
jonnut avaruuteen ulkopuolelle Auringon vetovoiman eli käytännöllisesti siirty-  
nyt äärettömän kauaksi, jolloin impulssisäännön mukaan Auringon pyörimisliik-  
keen olisi täytynyt pysähtyä. Niin on melkein tapahtunutkin.

Vielä on selittämättä planetoidien ja Pluton syntymisen, joka mielestämme on  
laskettava planeetoideihin kuuluvaksi samoin kuin Hidalgokin, jonka soikea rata  
ulottuu Saturnuksen radan tienoille asti. Jos KUIPERIN määritykset Plutosta ovat  
oikeat, on se tyypillinen ns. rautaplaneetta, koska sen tiheys on 5,5 eli sama kuin  
Maan. Silloin se ei ole voinut syntyä muualla kuin Jupiterin radan sisäpuolella,  
jossa toisetkin rautaplaneetat ovat syntyneet. Jos se olisi syntynyt isojen planeet-  
tojen syntymäaikaan ja niiden alueella, se ei sisältäisi rautaa, koska eivät isot

planeetatkaan sitä sisällä. (Planeettain kokoomuksesta viittaamme FRED HOYLEN teokseen *Frontiers of Astronomy*.)

Sisäpuoliset planeetat ovat kaikki rautaplaneettoja, jotka HOYLEN mukaan sisältävät seuraavat määrät rautaa: Mars 20 %, Maa ja Venus 30 % sekä Merkurius 40 %. Näyttää siltä, että rauta olisi syntynyt Auringossa Jupiterin synnytyksen seurauksena eikä olisikaan tullut sinne suuremmassa määrässä valmiina avaruus-pölyn seassa, kuten HOYLE otaksuu. Olisiko mahdollista, että valtavan Jupiterin räjähdysten rekyylit ynnä pinnalta palaavien paineaaltojen (engl. shock waves) konsentroituminen olisivat sen keskuksessa hetkellisesti saaneet aikaan lämpötilan nousun 150 miljoonaan asteeseen asti ja niin suuren paineen, että heliumatomit olisivat voineet yhtyä raskaiksi metalliatomeiksi. ZDENĚK KOPAL<sup>1</sup> uskoo novien pinnalta tähden keskipisteeseen palaavien paineaaltojen energian muuttuvan lämmöksi ja paineeksi. Kun raudan ja muiden raskaiden metallien atomien syntyminen on endoterminen prosessi, ei Auringon ole tarvinnut sen vuoksi pullistua.

Mutta palatkaamme planeetoideihin. Maahan putoavat meteoriitit ovat planeetoidien sirpaleita, jotka sisältävät muun muassa rautaa ja nikkeliä ja joiden kiderakenne on sellainen, että sen on täytynyt syntyä korkeassa paineessa ja lämpötilassa. Sellainen vallitsee planeetan sisuksissa ja meteoriitit ovat siten räjähtäneen planeetan sirpaleita. Mutta koska planeetta ei voi räjähtää novan lailla, täytyy sen särkymiseen olla olemassa mekaaninen syy.

Eräät seikat viittaavat siihen, että Jupiterin ja Marsin välillä on ollut kaksi pientä planeettaa, joista ulomman radalla oli niin suuri eksentrisyys, että sen radan periheli on ollut lähempänä Aurinkoa kiertäneen radan sisäpuolella. Radoilla on ollut yksi yhteinen leikkauspiste, jossa elliptisellä radalla kulkevalla on siinä pisteessä ollut suurempi nopeus kuin enemmän ympyrän muotoista rataa kiertävillä, koska samalla etäisyydellä Auringosta on elliptinen nopeus suurempi kuin sirkulaarinen nopeus.

Jos radoilla on ollut yksi yhteinen leikkauspiste, täytyy planeettojen määrätyn äärellisen ajan kuluessa törmätä siinä yhteen. Silloin on nopeammin kulkeva planeetta törmännyt takaa päin edellä kulkevan päälle. Kun planeetoilla on jokin tietty elastisuus, saavat edellä kulkevan sirpaleet suuremman nopeuden ja soikeammat radat.

Planeettain sirpaleet ovat sinkoutuneet eri suuntiin hajalleen ja siksi niiden radoilla tavataan eri suuruisia kallistumia ekliptikkaa vastaan. Suurimmat kallistumat ovat Hidalgo ja Plutolla, edellisellä 54° ja suuremmalla Plutolla 17°. Planeettain ratojen kallistumat ovat pieniä ja suurin on Merkuriuksella, jolla se on 7°. Pluton radan suuri kallistumakin viittaa siihen, ettei se voi olla alkuperäinen planeetta, samoin radan suuri eksentrisyys puhuu sen puolesta.

Voidaan vielä päätellä, että takaa tulevan planeetan työntö ei ole ollut sentraalinen, vaan on sattunut edellä kulkevan planeetan Auringon puoleiseen kylkeen, koska suuremmat massat Hidalgo ja Pluto ovat lentäneet ulospäin. Tätä vahvis-

<sup>1</sup> ZDENĚK KOPAL, 1956. *Vistas in Astronomy*, ss. 1494—1499

taa vielä eräs seikka, nimittäin GAMOWIN teoksen *Biography of Earth* (1941) suomenoksesta, *Maa pallon elämäkerta* sivulla 26 oleva tieto, että Pluton pyörimissuunta akselinsa ympäri on retrogradinen. Tämä on mahdollista selittää siten, että kun takaa tuleva planeetta on sattunut edellä kulkevan Auringon puoleiselle syrjälle on sekä sen törmäys että pyörinnän hankaus planeettain koskettaessa toisiinsa kääntänyt irtoavaan segmenttiin sisältyneen massan kiertosuunnan päinvastaiseksi. Pluton hidas pyörimisnopeus, kierrosaika 6,390 vuorokautta (WALLENQUISTIN mukaan), on myöskin epätavallinen.

Kun Pluton ja Hidalgo massat lensivät ulospäin, joutuivat ne saamansa nopeuden seurauksena suurien planeettojen sekaan, jolloin niiden vaikutus, varsinkin Jupiterin, on suurentanut vielä kummankin ratoja.

Pyrstötähtien syntyyn ei hypoteesimme tuo juuri uutta. Ne ovat syntyneet ja ehkä jatkuvasti syntyvät Auringon vetovoiman rajoilla siitä pölystä ja kaasusta, joka planeettain syntymäaikoina hajosi aurinkokunnan ulkopuolelle. Niiden massa on niin pieni, että ne eivät ole voineet kondensoitua kiinteiksi palloiksi, mutta pysyvät painovoimansa avulla koossa jonkinlaisina sora- ja kaasupilvinä.

### Planeettain etäisyydet Auringosta

Ei voida olettaa planeettain syntyneen niille etäisyyksille Auringosta, joilla ne nyt ovat. On uskottavaa, että planeettain syntymisaikana jatkuvasti pienenevä aluksi suuri Aurinko heitti planeetat siihen järjestykseen, kuin ne nyt ovat, ensimmäiset kauemmaksi ja viimeiset lähemmäksi. Auringon ja protoplaneettain massan pienenemisen seurauksena KEPLERIN kolmannen lain mukaan siirtyivät planeetat nykyisille etäisyyksilleen. Silloin niiden keski- etäisyydet venyivät harmonikan tavoin suuremmiksi. Protoplaneettain menettäessä massaansa siirtyivät niiden kuut samoin nykyisille etäisyyksilleen, kuten KUIPER<sup>1</sup> on osoittanut.

KEPLERIN kolmas laki kuuluu

$$\frac{a^3}{p^2} = \text{vakio} \times M$$

Siinä  $M$  on Auringon ja planeetan yhteinen massa,  $a$  planeetan keskietäisyys Auringosta ja  $p$  sen kiertoaika. Kun  $M$  ajatellaan muuttuvaksi, on yhtälö voimassa kullakin hetkellä vallitsevassa tilanteessa.

KEPLERIN toinen laki on aina voimassa ja voidaan kirjoittaa planeetalle, joka kulkee ympyrän muotoista rataa muotoon:

$$\frac{\pi a^2}{p} = \text{vakio}$$

<sup>1</sup> G. P. KUIPER, 1956. *Vistas in Astronomy*, s. 1645



Kun tästä ratkaistaan  $p$  ja sijoitetaan edelliseen yhtälöön, saa se muodon

$$a \times M = \text{vakio}$$

KEPLERIN kolmas laki tähän muotoon kirjoitettuna osoittaa, että  $a$  ja  $M$  ovat toisiinsa kääntäen verrannolliset eli kun  $M$  pienenee suurenee  $a$  samassa suhteessa.

KUIPERIN planeettateorian mukaan Auringon massa ei ole pienentynyt sen jälkeen, kun planeetat alkoivat tiivistyä massarenkaasta, joka ulottui planeettakunnan rajoille, joten planeetat syntyivät suurin piirtein nykyisille etäisyyksilleen. Kun tähtiä ja siis planeettakuntiaakin uskotaan jatkuvasti syntyvän Linnunradan sumuissa, pitäisi joillakin tähdillä olla sellainen rengas. Kun se olisi astrofysiikan nykyisin keinoin todettavissa eikä niin ole tapahtunut, ei teoria pitäne paikkaansa.

Kun kuumat tähdet korpuskelisäteilynä menettävät vuosittain  $10^{-6}$ — $10^{-5}$  kertaa Auringon massan (suurempi arvo koskee Wolf-Rayet-tähtiä, pienempi P-Cygni-tähtiä) sekä sumurenkaasta avaruuteen leviää vielä suunnilleen saman verran vuosittain massaa, on Auringon massan ensimmäisen planeetan syntyessä täytynyt olla moninkertainen nykyiseen verrattuna. Yllämainittujen häviöiden mukaan menettäisi Aurinko miljoonassa vuodessa kaksi kertaa nykyisen massansa. Jos siis planeettain synnyttämisen aika olisi kestänyt kaksi miljoonaa vuotta, olisi tänä aikana massahukka voinut lähestyä nelinkertaista Auringon massamäärää, ja sinä aikana ensimmäiseksi syntynyt planeetta Neptunus olisi siirtynyt alkuperäiseltä radaltaan neljä kertaa kauemmaksi. Miljoona vuotta sen jälkeen syntynyt planeetta olisi siirtynyt kaksi kertaa kauemmaksi. Viimeinen planeetta Merkurius olisi jäänyt alkuperäiselle etäisyydelleen. Valitsemalla Auringon alkuperäinen massa sopivaksi, samoin kuin planeettain syntymisen väliajat, voitaisiin planeettain etäisyydet saada vastaamaan BODEN lakia. Mainittakoon, että KUIPERIN mukaan lasketut protoplaneettain massat tekevät yhteensä  $0,123 \times$  Auringon massan eli  $1,23 \times 10^{-1} \times$  Auringon massa. Kun Aurinko menetti vielä sen pinnasta lähteneiden »kuorien» muodossa sekä purkauskraatterin jälkipuhalluksen johdosta todennäköisesti yhtä paljon massaa, on planeettain synnytys vaatinut yhteensä noin  $2 \times 10^{-1} \times$  Auringon nykyisen massan.

### Milnen hypoteesi

E. A. MILNE on otaksunut, että tähtien räjähteleminen kuuluu niiden normaaliin kehitykseen. AMBARTSUMJAM<sup>1</sup> kumoaa MILNEN käsityksen seuraavalla statistisella laskelmalla. Hän otaksuu Linnunradassa vuosittain tapahtuvan 30 novaräjähdyttä, ja kun tähden keskimääräinen ikä on  $10^{10}$  vuotta, tapahtuisi Linnunradassa sen elinaikana  $3 \times 10^{11}$  räjähdystä. Kun tähtien lukumäärä Linnunradassa on noin  $3 \times 10^{10}$  tähteä pitäisi silloin jokaisen tähden räjähtää 10 kertaa. Mutta, kun Aurinko ei ole  $2 \times 10^9$  vuoden kuluessa kertaakaan räjähtänyt, koska

<sup>1</sup> V. A. AMBARTSUMJAM, 1957, s. 484

räjähdykset olisivat jättäneet jälkiä Maan kuoreen, otaksuu AMBARTSUMJAM, etteivät muutkaan Auringon kaltaiset tähdet räjähtelee. Siitä syystä täytyy räjähtelevien tähtien olla erikoisia tähtiä, jotka räjähtelevät hyvin monta kertaa. Toistuvat novat viittaisivat siihen suuntaan. Mutta ovatko toistuvat novat alikäpiöitä, kuten tavallisten novien otaksutaan olevan, vai ovatko ne planeettain synnyttäjiä? Toistuva nova T Coronae borealis on suuri tähti, jonka massa on 2,7 kertaa Auringon massa, ja se on MCLAUGHLININ<sup>1</sup> mukaan ainoa nova, jonka massa on luotettavasti määrätty.

Jos Aurinko on saanut planeettansa räjähdysten seurauksena, ovat ne tapahtuneet ennen geologista aikaa jälkiä Maan kuoreen jättämättä. Jos kaikki aurinkokaltaiset tähdet ovat synnyttäneet keskimäärin kymmenen planeettaa samalla tavalla ja siten jo täyttäneet räjähtelyvelvollisuutensa, näyttäisi AMBARTSUMJAMIN statistiikka vahvistavan MILNEN hypoteesin ja tukevan ajatustamme planeettain synnystä.

Linnunradan toisten tähtien planeettoja emme koskaan tule näkemään, mutta edellä esitetyn käsityksen mukaan me voisimme kyllä nähdä niiden syntymäleimahdukset.

<sup>1</sup> MCLAUGHLIN, 1960, *Stars and Stellar Systems*, s. 640

## MIETTEITÄ PLANEETTAKUNNAN SYNNYSTÄ<sup>1</sup>

Kirj. AARNO NIINI

### I. Aikaisempia käsityksiä planeettakunnan synnystä

Tämän kirjoituksen puitteissa ei ole mahdollista tarkastella yksityiskohtaisesti aikaisemmin esitettyjä käsityksiä aurinkokunnan synnystä, jossa suhteessa tyydyn vain viittaamaan esim. JAAKKO TUOMISEN kirjaan *Aurinkokunnan arvoitus*<sup>2</sup>, W. M. SMARTIN teokseen *The Origin of the Earth*<sup>3</sup> sekä G. P. KUIPERIN käsikirjaan *The Solar System*.<sup>4</sup> On vain todettava, että ne perusolettamusten puolesta jakaantuvat seuraaviin kahteen ryhmään:

1. sellaiset, jotka olettavat planeettakunnan syntyneen *avaruusaineesta* joko yhtäaikaisesti Auringon kanssa tai Auringon myöhemmin jouduttua tätä ainetta sisältävään pilveen;
2. sellaiset, joissa planeettakunnan oletetaan syntyneen *jo Auringossa* tai sitä vastaavassa taivaankappaleessa *muotoutuneesta aineesta*.

Nykyään pidettäneen edelliseen ryhmään kuuluvia selitysyriytyksiä (KUIPERIN modifioimaa VON WEIZSÄCKERIN pyörreteoriaa<sup>5</sup> tai ALFVENIN sähkömagneettista hypoteesia) luotettavimpina.

Itse perusajatus, planeettakunnan koostuminen tähtien välisestä avaruusaineesta tai -tomusta, on kuitenkin fysikaalisesti mahdoton. Ainakin Maa, Maan Kuu, Merkurius, Venus ja Mars sekä monet pikkuplaneetat ynnä meteoriitit ovat ainekokoosukseltaan ja rakenteeltaan sellaisia, ettei niiden materia ole voinut joutua nykyiseen olomuotoonsa suoraan avaruudesta vastaavan kokoisiin kappaleisiin kerääntyvästä aineesta. Esimerkiksi Maasta voimme kyllä kuvitella, että se joskus on ollut niin kuuma ja sen sisuksissa on vallinnut sellainen paine, että atomirakenteeltaan nykyisen kaltainen materia on myös voinut muodostua nyt tavattaviksi kemiallisiksi yhdisteiksi. Mutta Maan »atomimäili» ei ole koskaan

<sup>1</sup> Kirjoitus sisältää lyhennelmiä tekeillä olevasta kirjasta *Löytöretki maailmankaikkeuteen*, joka esittää uuden yleisen oletuksen maailmankaikkeuden aine- ja energiatasapainosta sekä yksityiskohtia Auringon, aurinkokunnan ja Maan kehityksestä tällä perusteella.

<sup>2</sup> JAAKKO TUOMINEN, *Aurinkokunnan arvoitus*, Helsinki 1933, ss. 131—141.

<sup>3</sup> W. M. SMART, *The Origin of the Earth*, Edinburgh, 1951, ss. 179—207.

<sup>4</sup> G. P. KUIPER, *The Solar System III*, Chicago 1961.

<sup>5</sup> Ks. esim. KARI STUMPF, *Astronomie*, Fischer Lexikon n:o 4, Frankfurt am Main, 1957, ss. 151

—155.

voinut muodostaa täällä tavattavia raskaita ytimiä tähtien välisessä tilassa olevasta aineesta.

Toisaalta on jo esim. Kuu niin pieni kappale, ettei siinä ole voinut tapahtua edes samaa kemiallisten yhdisteiden kehitysprosessia kuin Maassa, niin ettei perusolettamuksen laajentaminenkaan antaisi selitystä Kuun materian kiinteydelle. Vielä vähemmän voitaisiin olettaa, että meteorikivet olisivat suoraan avaruusaineesta koostuneita kappaleita. Päinvastoin on aivan ilmeistä, että avaruudessa olevat pikkuihkkaset vähäisissä määrissä yhteen sattuessaan muodostaisivat untuvapallojen tapaisia kappaleita, jollaisia meteoriitteja avaruuteen lähetetyt havaintolaitteet ja avaruuslentäjät ovat todenneetkin.

Yhtä luonnollista kuin pienten kappaleiden aineen kehittyminen »planeettavaiheeseen kautta», on myös raskaiden ytimien muodostuminen »aurinkovaiheen kautta». Kun kaikissa auringoissa parhaillaan tapahtuu yksinkertaisten ytimien välisiä energiaprosesseja, joissa samalla muodostuu raskaampia ytimiä, ei myöskään voida lähteä sellaisesta perusolettamuksesta, että tähtien välisessä tilassa näitä raskaampia ytimiä olisi tai olisi alunperin ollut olemassa ihan itsestään. Viime vuosikymmenien käsitys Auringosta ja kiintotähdistä, mikä käsitys on muodostunut pääasiassa näkyvän valon analyysin perusteella, onkin jo horjumassa, kun ilmakehän ulkopuolella suoritetuissa mittauksissa on Auringosta lähtevän röntgensäteilyn perusteella todettu, että esim. rautaa on moninkertaisesti ionisoituneessa muodossa etäällä Auringon korona-alueella. Ei voida myöskään pitää mahdollisena, että esim. Auringossa todettavat määrät raskaita alkuaineita olisivat tulleet siihen (ja muihin kiintotähtiin) näiden ulkopuolisissa »atomimäilissä» syntyneinä. Auringon sisuksissa vallitsevissa olosuhteissa tapahtuvia ydinreaktioita on vaikea kuvitella tai laskennallisesti johtaa, sillä paitsi tuntematonta lämpötilaa, vallitsee siellä miljardien atmosfäärien paine. Siitä huolimatta, ettei ydinreaktioita ehkä voidakaan ilmaista tavanomaisina »kaavoina», näissä olosuhteissa täytyy tapahtua moninkertaisia yhtäaikaista reaktioita, jotka johtavat suoraan raskaiden ytimien muodostumiseen. Kokeellisesti ja laskennallisesti on käsitelty vain kahden tai muutaman ytimen keskinäistä kosketusta. Tosiasiassa ilmiöt ovat tilastollisia, sillä kosketuksia samaan ytimeen tapahtuu sekunnissa ehkä kertalukua  $10^{20}$  oleva määrä. Sitä paitsi elektronit ja protonit, joita Auringon atomimäilusta suurilla nopeuksilla sinkoilee ympäristöön, on käsiteltävä — samoin kuin raskaamat ytimetkin — myöhemmin esitettäväksi tulevan energiaprosessin sivutuotteiksi eikä siihen osallistuviksi alkuhiukkasiksi.<sup>6</sup>

Toiseen ryhmään kuuluvat selitysyriytykset ovat kompastuneet joko suorastaan siihen, ettei Auringosta irtautuva aine voi saada sellaista impulssimomenttia kuin planeettakunnalla on (esim. JAMES JEANSIN ja H. JEFFREYSIN protuberanssihypoteesi), taikka siihen, että tarvitaan kolmen tähden yhtäaikaisten vaikutus (RUSSELIN kaksoistähtiajatus ja GUNNIN tai BANERJIN sykkivän tähden olettamukset).

HOYLEN kaksoistähti-supernova-olettamuksessa ei ole mitään edellä mainituista heikkouksista. Sen sijaan ei liene mitenkään selitettävissä,

<sup>6</sup> Tästä asiasta enemmän kirjassa *Löytöretki maailmankaikkeuteen*.

- minkätähden planeettakunnan massa Aurinkoon nähden on niin perin vähäinen (räjähtävän tähden tulisi olla ainakin nykyisen Aurinkomme suuruusluokkaa), tai
- missä on räjähtäneen tähden muu osa (sillä koko kaksoistähden painopiste ei saisi sisäisten voimien vaikutuksesta muuttaa paikkaansa); taikka
- miksi ei myös Aurinko räjähtänyt ollessaan tällaisen supernovan naapurina.

Tämän oletuksen mukaan olisi myös — mihin edellä on viitattukin — oletettava, että raskaat alkuaineet Auringossakin olisivat siihen ulkoapäin tulleita.

## 2. Yhdistetty kohtaous-nova oletamus

### 2.1. Alkuehdot

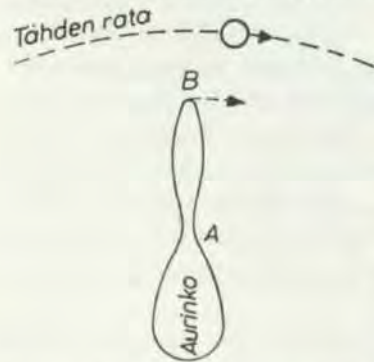
Planeettakunnan ainerakenteen perusteella on pidettävä selvänä, että sen atomiytimet ovat muodostuneet Auringossa vallitsevaa tilaa vastaavissa olosuhteissa.

Planeettakunnan liiketilan (kiertoimpulssin) perusteella on pääteltävissä, ettei ainakaan pääosa planeettojen aineesta ole peräisin nykyisestä Auringostamme.

Auringon ja planeettojen massasuhteesta on tehtävä johtopäätös, ettei planeettakunta ole syntynyt supernovan räjähdyksestä.

Meteoriittien ja pikkuplaneettojen raskas ainekokoisuus edellyttää, että ne puolestaan ovat syntyneet jo planeetaksi muodostuneen ainejoukon uudestaan hajotessa.

### 2.2. Kahden auringon kohtaaminen

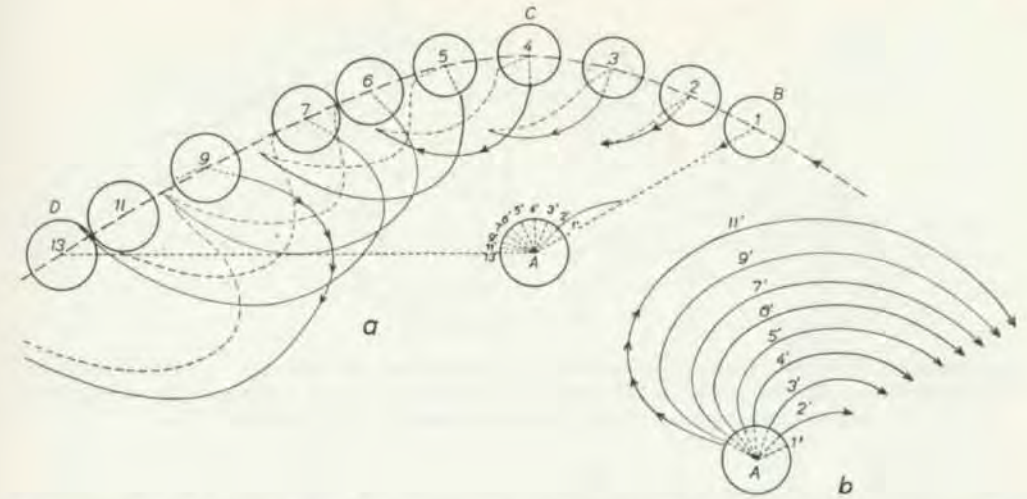


Kuva 1. JEFFREYSIN oletamus kahden tähden kohtaamisessa tapahtuvasta jakaantumisesta. Auringosta kuroutuu ohittavan tähden «vuoksisivoiman» vaikutuksesta osa BA, joka etenee ohittavan tähden suuntaan. Kuva SMARTIN teoksesta *The Origin of the Earth*.

JEFFREYSIN kehittämään aurinkojen kohtaamisolettamukseen on jäänyt huomattava heikkous, jonka poistaminen tämän kirjoittajan mielestä ratkaisee kysymyksen planeettakunnan synnystä lopullisesti.

Tapahtumat, jotka JEFFREYS olettaa sattuviksi kahden tähden kohdatessa, on esitetty kuvassa 1. — Olen kirjassa *Maapallon kasvot*<sup>7</sup> huomauttanut, että kahden tähden kohdatessa molemmissa syntyy myös samanlaiset purkaukset, jos ne ovat rakenteeltaan suunnilleen samanlaiset. Jos siis vieras tähti, jota (taikka sitä vastaava avaruustomun kasautuma) tarvitaan kaikissa kehittelykelpoisissa oletamuksissa planeettakunnan syn-

<sup>7</sup> AARNO NIINI, *Maapallon kasvot*, Porvoo—Helsinki 1961, ss. 169—174.



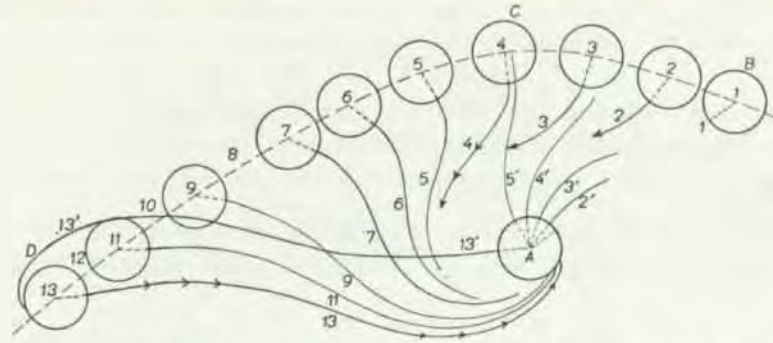
Kuvasarja 2. a. Sisäisten voimien aiheuttaman purkauksuuhkun kehitys ohittavassa tähdessä, jos Auringon (A) vetovoima ei vaikuttaisi siihen. Peräkkäisillä luvuilla merkittyjen osakuvien aikavälit yltä suuret.

b. Auringon (sisäisten voimien aiheuttaman) purkauksuuhkun kehitys samoilla edellytyksillä.

nyn selittämiseksi, tulee kuvassa 1 esitetylle etäisyydelle Auringosta, tapahtuu siinä samanlainen valtava purkaus kuin Auringossakin.

Huomattava on nimittäin ensiksikin, että vuoksisuon syntyessä Auringon pintakerrokseen sisäinen tasapaino häiriintyy niin, että jo suhteellisen etäinen vieras kappale voi antaa alkusyyksi sisäisten voimien aiheuttamaan purkaukseen. Lähtevän jättiläisprotuberanssin alkunopeus ei siis määräydy vieraan taivaankappaleen vaikutuksen, vaan Auringon sisäisten voimien perusteella, vaikka alkusysäys onkin ulkopuolinen. Toiseksi on otettava huomioon, että purkauksielekreet etenevät kahden kappaleen vetovoimakentässä.

Kuvitelkaamme kahta toisensa hyperbeliradoilla ohittavaa aurinkoa. Ajatellaan yksinkertaisuuden vuoksi kappaleen A kuvaan nähden kiinteäksi, ja tarkastelemme vain liikkuvassa kappaleessa B tapahtuvaa purkausta. Alkukoona se pisteessä B ja päättyköön kohdassa D. Ensin emme ota huomioon kappaleen A vetovoimaa. Purkauksuuhku etenisi kuvasarjan 2 esittämällä tavalla, jos kappaleet eivät pyöri toisiinsa nähden ja jos purkausnopeudet ovat suhteellisen suuret. Kun kappaleiden etenemisnopeudet joka tapauksessa ovat suuret pyörimisliikkeen nopeuksiin nähden (esim. 4 Auringon säteen etäisyydessä on etenemisnopeus vähintään 300 km/s, kun Auringon pinnan nopeus ekvaattorilla nyt on n. 4 km/s) voitaneen pyörimisnopeuksia pintojen lineaarisina nopeuksina joka tapauksessa pitää häviävän pieninä ohitusnopeuksiin nähden. (Purkaus voisi ehkä syntyä vielä Merkuriuksen etäisyydeltäkin, jossa ohitusnopeus > 50 km/s.) Purkausnopeudet voivat ilmeisesti vaihdella hyvin läheisen ohituksen tapauksesta, jossa ehkä nopeus 150 km/s jo riittäisi irrottamaan purkausmassan emäkappaleestaan, etäisempään,



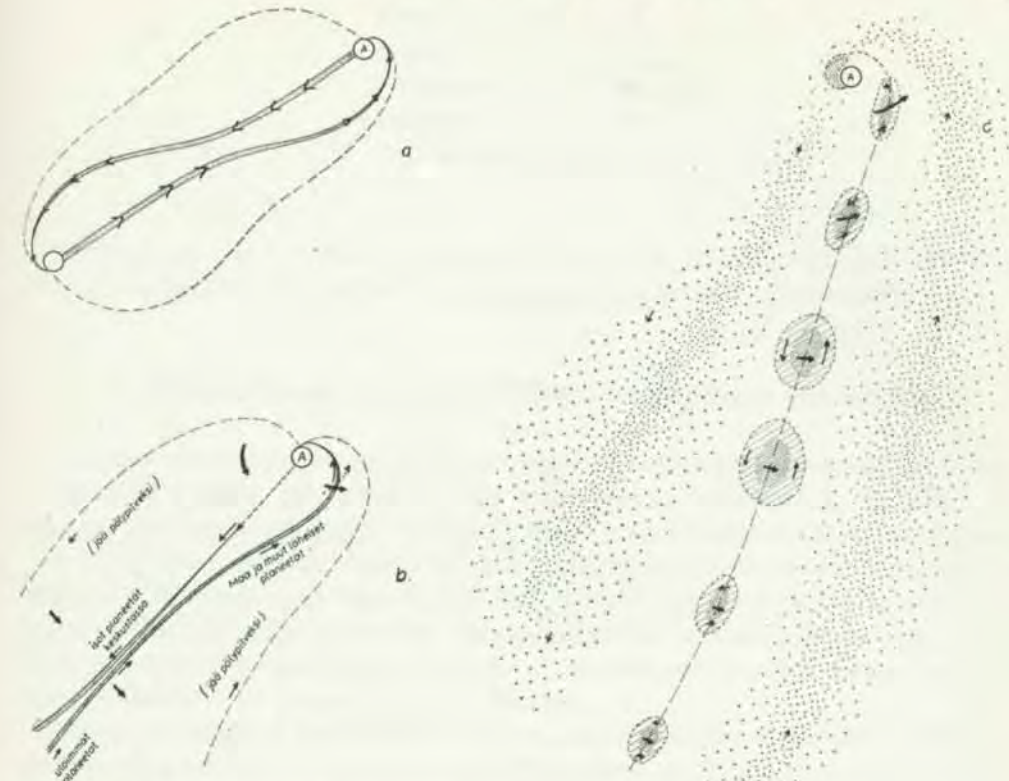
Kuvasarja 3. Molempien tähtien purkaussuihkujen pääsuunnat aikavälein 1—13 naapuritähden vetovoimakentässä. Ohittavan tähden etenemisliikkeen johdosta syntyy purkaussuihkun vastapäiväinen kiertoimpulssi. (Vastinajankohdat merkitty samoilla numeroilla.)

jossa vaadittaisiin suurempia nopeuksia kuin 500 km/s, ohittavan kappaleen omasta massasta riippuen. Kuvasarjassa 2 on oletettu, että etenemisnopeus ja purkauksen alkunopeus ovat samaa suuruusluokkaa. Ohitettava kappale joutuu pyörimisliikkeeseen sen pinnalla aina ohittavaa kappaletta kohti suuntautuvan vuoksi-aallon vaikutuksesta, joka antaa sille ohitus suunnan mukaisen kiertoimpulssin (niin kuin se vierisi pitkin ohitettavan kappaleen pintaa).

Mutta jos otamme huomioon, että ohittavan kappaleen (B) purkaussuihkun uloin osa (kuvassa 2) hyvin äkkiä joutuukin pääasiassa kappaleen A vetovoiman vaikutuksen alaiseksi ja että lähellä sitä voimme tarkastella suihkun osasten liikettä miltei ikään kuin ne olisivat tulleet kappaleen A vetovoimakenttään tietyllä alkunopeudella, joka määräisi niiden radat siinä, saammekin kuvan 3 esittämän tapauksen. Kohdasta C lähtevät hiukkaset, joiden ohitusnopeus A:han nähden tosin on suurempi kuin kappaleen B, joutuvat alkunopeutensa ansiosta niin lähelle A:ta, että ne voivat sen vetovoiman vaikutuksesta «pudota» siihen pitkin spiraalimaista rataa taikka jäädä elliptiselle radalle kiertämään sen ympäri. Mitä kauemmas B etenee suuntaan D, sitä vähemmän todennäköistä on, että suihku enää joutuu itse kappaleeseen A asti, vaan pääosa siitä ilmeisesti jää erilaisille ellipsiradoille. Jos purkaus — edelleen sisäisten voimien vaikutuksesta — jatkuu vielä kauan lähimmän ohituksen jälkeen (ohi pisteen D), niin purkausosat seuraavat ilmeisesti ohittaja B:tä ja putoavat aikanaan siihen takaisin, ellei alkunopeus ole ollut suurempi kuin irtoamisnopeus kappaleesta (Auringossa n. 600 km/s).

Kuvasarja 4 esittää ohitustapahtuman lopputulosta tähtien etäännyttyä kauas toisistaan. Näistä kuvista nähdään havainnollisesti, miten ohittajan purkaussuihku ainakin osittain jää ohitettavan kiertolaiseksi. Tähän massaan sisältyy ohitettavan omasta kiertoimpulssista täysin riippumaton — ja edelliseen verrattuna tavattoman suuri — impulssimomentti. — Tämäsäilyy luonnollisesti purkauspilven vähitellen muodostuessa keskusauringon planeettakunnaksi.

Jos jommallakummalla tähdellä alunperin oli pyörimisliike toiseen nähden, ei ole ihmeellistä, jos planeettakunnan keskimääräinen ratataso poikkeaa keskus-

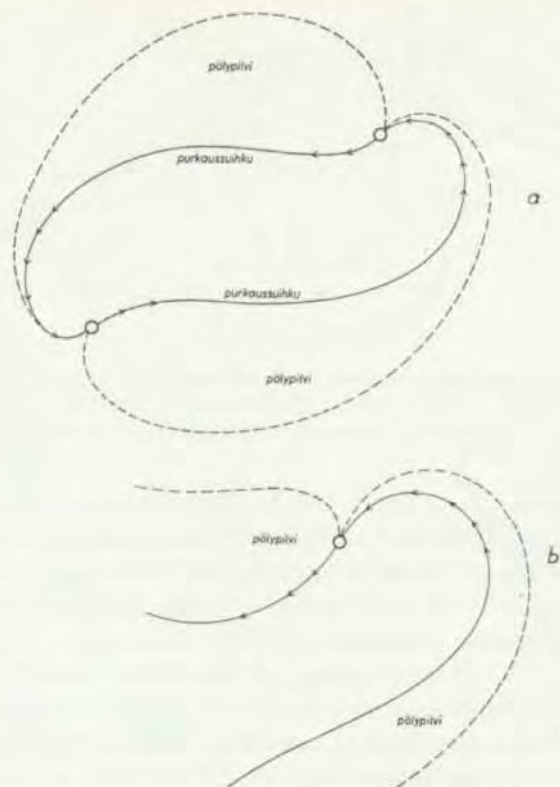


Kuvasarja 4. Ohitusten ja purkausten kehittyminen edelleen. (Mittakaava n.  $\frac{1}{2}$  kuvien 2 ja 3 mittakaavasta.)

- Tilanne n. hetkellä 20 saman numeroinnin mukaan kuin kuvassa 3. Katkoviivalla merkitty syntynen pölypilven raja.
- Purkaukset ovat loppuneet ja purkaussuihkut rupeavat vähitellen jakaantumaan pienempiin osiin, joissa erisuuntaisten purkaussuihkujen osittain törmätessä toisiinsa sisäiset kiertoimpulssit muodostuvat hyvin suuriksi. Hitaammat hiukkaset jäävät aluksi irrallisiksi pölypilviksi.
- Planeetat ovat muodostumisvaiheessa. Ulkopuoliset pölypilvet muodostuvat «alkukuiksi».

kappaleen pyörimistasosta (akselia vastaan kohtisuorasta tasosta). Esim. Auringon ekvaattori poikkeaa  $6^\circ$  ekliptikasta. Myöskään ei planeettakunnan kokonaisuudessaan ole tarvinnut muodostua aivan samaan tasoon, sillä purkaussuihkun suunta on ollut riippuvainen myös juuri ohittajan pyörimistilasta ennen kohtaamista.

Toisaalta on ilmeistä, että purkaussuihkujen vastakkaiset nopeudet, jotka lopullisesti tulevat vaikuttamaan — ainakin keskustassa — muodostuneiden planeettojen massojen vastakkaisilla laidoilla, ovat antaneet näille kappaleille pääosan niillä nyt olevasta «sisäisestä» kiertoimpulssista eli impulssimomentista omaan pyörimisakseliin nähden. Näiden massojen kiertoimpulssit muodostuvat myös miltei samansuuntaisiksi, joten syntyneet planeetat pyörivät yleensä myös siihen suuntaan, jolla ne vierisivät pitkin keskuskappaleen pintaa. Niiden kiertoimpuls-



Kuvasarja 5. Olettamus etäältä alkaneista »hitaista» purkauksista.

a. Tähdet juuri ennen purkausten päättymistä.

b. »Loppukuvio» ennen planeettojen muodostumista voi purkauksenopeuksista ja etäisyyksistä riippuen olla vaihteleva. Tässä tapauksessa muodostuisi ehkä kaksi planeettaryhmää, joiden sisäiset kiertoimpulssit olisivat pieniä. Sivusuunnasta katsottuna vaihtelisi tähden valovoimakkuus aluksi jaksollisesti.

sit ovat ilmeisesti yksilölliset; näyttäisi kuitenkin olevan hyvin mahdollista, että keskimmäisten planeettojen impulssimomentit olisivat massayksikköä kohti lasketuina huomattavasti suuremmat kuin sisimmissä ja myös aivan kaikkein ulommiksi jääneissä. Impulssimomentti saattaa sisimmissä ja uloimmissa nimittäin johtua vain toisen purkauksuuhkun sisäisestä kiertoimpulssista, joka muodostuu samansuuntaiseksi kuin keskimmäisten kappaleidenkin.

Seuraavassa taulukossa on tätä asiaa tarkasteltu lähemmin (impulssimomentti  $\theta$ ):

	$\theta/mr^2 \sim \frac{I}{T}$
Merkurius	0.012
Venus	0.033
Maa	1.0

Mars	1.0
Jupiter	2.4
Saturnus	2.4
Uranus	2.0
Neptunus	1.6
Pluto	

Merkuriuksen ja Venuksen pyörimisliikkeet ovat voineet paljonkin hidastua, mutta taulukko näyttää kuitenkin vahvistavan edellä tehtyä olettamusta.

### 3. Planeettojen massat ja niiden keskinäiset etäisyydet

Ohittaneesta auringosta singahtaneen protuberanssin kokonaisuudessa — vähennettynä sillä osalla, joka ehkä päätti tiensä meidän Aurinkoomme ja sillä, joka seurasi omaa emäaurinkoaan — on määrännyt planeettakunnan kokonaisuudessa. Sen suhde Auringon massaan ei siis ole minkään lainmukaisuuden alainen. Sen keskimääräinen etäisyys taas riippuu osittain siitä, mikä oli ohittajan nopeus ja kuinka etäällä ja millä nopeudella purkaus tapahtui. Samoin osittain siitä, miten ohitettavasta (Auringosta) pienemmillä nopeuksilla purkautunut massa on hidastanut muodostuvan planeettakunnan liikettä.

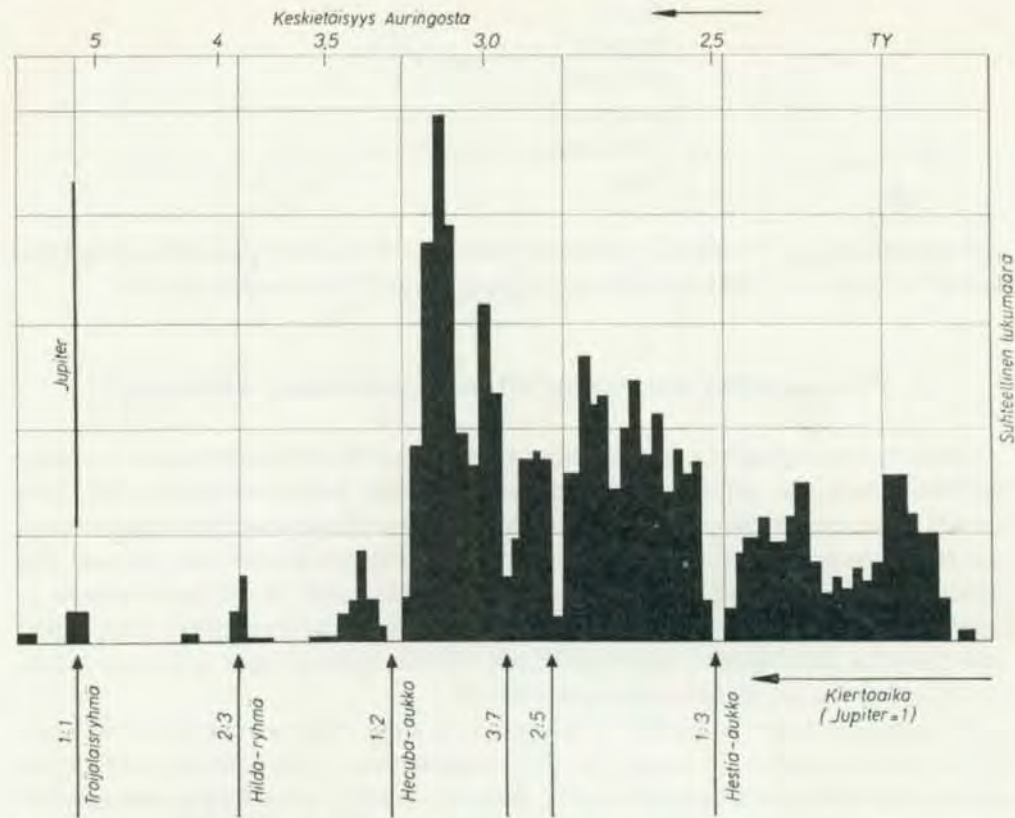
Mutta planeettojen keskinäiset etäisyydet sen sijaan tulevat tietyllä tavalla toisistaan riippuvaisiksi. Jo kauan on ollut tunnettu ns. TITIUS-BODEN laki, jonka mukaan Merkuriusta lukuunottamatta planeettain etäisyydet Auringosta noudattavat likimain seuraavaa säännönmukaisuutta:

$$a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^{n-2}$$

$a$  on etäisyys ns. tähtitieteellisissä mittayksiköissä ja  $n$  planeetan järjestysluku Auringosta lukien, kuitenkin siten että lukuun Marsin jälkeen on lisättävä 1 (ns. puuttuva planeetta). Merkuriukselle taas on asetettava  $n = -\infty$ . Kuten tunnettu on puuttuvan planeetan paikalta sittemmin löydetty pikkuplaneettojen parvi.

Tämä säännönmukaisuus on näihin asti jäänyt ilman selitystä, ja kun viimeksi löydetty planeetat Neptunus ja Pluto eivät »noudatakaan lakia», sitä on alettu pitää vain sattumana. REINO TUOKKO on kuitenkin osoittanut<sup>8</sup>, että kysymyksessä on todella fysikaalinen lainmukaisuus: planeettojen kiertoaikojen keskinäisestä resonanssista johtuva. Jos nimittäin planeettojen kiertoajat Auringon ympäri olisivat lähellä suhteita 1:2, 2:3, 1:3 jne., ne aina määrääkseen kuluttua toistuvasti aiheuttaisivat niin suuria häiriöitä toistensa ratoihin, että lopulta jompikumpi aina suistuisi pois säännöllisestä kiertoaikeestaan, jolloin sen massa aikanaan ilmeisesti yhtyisi muiden planeettojen massoihin tai joutuisi jonkin kuuksi.

<sup>8</sup> REINO TUOKKO, *Äärimmäisillä vajoilla*, Porvoo—Helsinki 1962, ss. 167—174.



Kuva 6. Pikkuplaneettojen etäisyydet Auringosta ja kiertoajat Jupiterin vastaavien suureiden funktiona (STUMPFIN mukaan).<sup>9</sup>

TUOKON mukaan TITIUS-BODEN laki olisi kirjoitettava muotoon

$$a = 0,5 + 0,25 \cdot 2^{n-2}$$

jolloin se vastaisi paremmin syntyvien resonanssitilojen väliin jääviä sallittuja alueita.

Planetoidien ryhmittäminen Jupiteriin nähden puolestaan osoittaa TUOKON käsityksen vain osittain oikeaksi. Kuva 6 selvittää asiaa.<sup>9</sup> Siinä on esitetty planeetoidien lukumäärä niiden Auringosta mitatun keskietäisyyden funktiona. Selvät, joskin hyvin kapeat aukot ovat niillä kohdilla, missä planetoidin kiertoaika olisi 1/2 tai 1/3 Jupiterin kiertoajasta, heikommat kohdilla 2/5 ja 3/7. Mutta sen sijaan suhteiden 2/3 ja 1/1 kohdilla on rajoitettu määrä planeetoita ympäristöalueen taas ollessa vapaa pikkuplaneetoista.

TUOKON periaatetulkinta TITIUS-BODEN laille antaa aiheen käyttää sitä myös eräänä perusteena planeettakunnan syntymahdollisuuksia arvosteltaessa. Jos

<sup>9</sup> Ks. esim. KARL STUMPF, *Astronomie*, ss. 224—227.

planeettakunta olisi syntynyt vielä suhteellisen tasa-aineisesta avaruusaineen pilvestä, jonka keskelle Aurinko olisi joutunut, tulisi planeettojen massojen suhtautua toisiinsa suunnilleen niin kuin niiden Auringosta mitattujen etäisyyksien neliöt. Tämä sääntö olisi joten kuten sovellettavissa kolmeen sisimpään planeettaan, mutta Jupiter olisi kohtuuttoman suuri ja kaikki muut ulommat planeetat liian pieniä. Toisaalta olisi hyvin ihmeellistä, että planeettakunta olisi muodostunut suunnilleen samaan tasoon.

Jos taas Aurinko olisi joutunut avaruusainepilven reunalle, jolloin todelliset suuruussuhteet suunnilleen ehkä voisivat vastata »teoreettisia» ja jolloin samaan tasoon syntyminen olisi käsitettävissä, ei pyörteiden syntymistä olisi tapahtunutkaan, vaan pilvi ja Aurinko olisivat jatkaneet liikettään toisiinsa nähden hyperbeliradoilla. Tällöin ei olisi olemassa planeettoja eikä ihmistä niiden syntyä ihmettelemässä.

TUOKON laki selvittää siten osaltaan sitä mahdollisuutta, että sikarinmuotoinen »purkausmakara» — tai oikeastaan kaksi hyvin pitkää makkaraa — on planeettakunnan »alkuperäispakkaus», ainoana mahdollisena. Ero tämän tulkinnan ja JEANSIN ajatuskannan välillä on pääasiassa siinä, että planeettakunnan massa ja sen impulssimomentti ovatkin kotoisin toisesta tähdestä eivätkä meidän omasta Auringostamme. HOYLEN ajattelu supernova taas supistuu vain novaksi, sillä tällaisen parin valovoimakkuus kasvaisi valtavasti 5—20 tunnissa ja pienenesi taas — kaasu- ja pölymäisten osien nopeasti jäähtyessä avaruudessa — myös suhteellisen lyhyessä ajassa.

Tähtien sivuuttaessa toisensa läheltä valovoimakkuuden kasvaminen tapahtuisi hyvin nopeasti. Mitä etäämmällä purkaukset voisivat tapahtua, sitä hitaampi olisi valovoimakkuuden kasvaminen. Kummassakin tapauksessa riippuisi saavutettava kokonaisvalovoima — etäiseen katsojaan nähden — myös siitä, missä kulmassa havaitsija olisi tapahtuman tasoon nähden. Myös novan myöhempi valovoimakkuuden vaihtelu olisi tarkastelun suunnasta riippuvainen. Tapahtuman tasoa vastaan kohtisuorasta suunnasta katsottuna ei valovoima ilmeisesti vaihtelisi lainkaan jaksollisesti, mutta mitä lähempänä itse tasoa tarkkailija olisi, sitä »sykähtelevämpi» tähti olisi.

Myös alunperin kaksoistähdiksi muodostuneessa auringossa voisi planeettakunnan synty tapahtua aivan samalla tavalla kuin edellä on kuviteltu toisensa hyperbeliradoilla kohtaaviin tähtiin nähden.

Kaksoistähdistä on yleensä oletettava, että ne alunperin sekä kiertävät toisensa ympäri että pyörivät oman akselinsa ympäri. Tähtien muodostuessa nämä nopeudet ovat toisistaan riippumattomat. Mutta kummankin pinnassa toista kohti suuntautunut vuoksiaalto hidastaa niiden pyörimisliikettä. Samalla kun liike hidastuu, vuoksi paisuu aina mahtavammaksi ja mahtavammaksi. Lopulta muuttuvat painesuhteet (tai jännitykset) kappaleiden sisällä niin, että sisäiset voimat aiheuttavat purkauksen joko jommassakummassa tai molemmissa. Kun purkauksuihku jatkuvasti on suunnattu kaksoistähdien toista komponenttia kohti, vastaa järjestelmä tältä osaltaan kahta vastakkaisiin suuntiin etenevää rakettia,

Komponenttien etäisyys siis kasvaa samalla kun purkausainetta jää erilaisille ellipsiradoille niiden välialueelle. Reaktiovoima siirtää tähdet viimein pois toistensa vaikutusalueelta.

#### 4. Planeettojen rakenne

Kun planeetat ovat syntyneet edellä kuvatulla tavalla, eivät niiden ainemäärät säännöllisesti määräydy kiertolaisten Auringosta mitatun etäisyyden perusteella, vaan ovat pääasiassa sattumanvaraiset, kuitenkin siten, että keskimäiset planeetat voivat olla suurempia kuin purkaussuihkujen päissä olevat. Niiden rakenne taas on kokonaisuudesta riippuvainen. Mitä suurempi planeetan massa on, sitä tiiviimpi on sen keskus ja sitä enemmän se myös pystyy pidättämään kevyitä alkuaineita kaasukehässään. Toisaalta voi vastakkaisiin suuntiin etenevien suihkujen nopeusero aiheuttaa niin suuria pyörimisnopeuksia, että osa massasta »karkaa» keskipakovoiman vaikutuksesta. Osittain voi myös tämä materia osallistua kuiden syntymiseen planeettojen ympärille.

Kun meille on vielä oman maapallomme sisus jokseenkin tuntematon, ei ole ihme, ettemme tiedä mitään muiden planeettojen sisuksista. Aineen keskitiheyden perusteella on kuitenkin eräitä päätelmiä tehtävissä. Merkuriuksen tiheys on melkein sama kuin Maan ( $5,3 \text{ g/cm}^3$  ja  $5,5 \text{ g/cm}^3$ ), Venus on keskimäärin hiukan kevyempi ( $4,7 \text{ g/cm}^3$ ) ja Mars vielä huomattavasti enemmän ( $3,8 \text{ g/cm}^3$ ), Jupiter (tiheys  $1,3 \text{ g/cm}^3$ ), Saturnus ( $0,68 \text{ g/cm}^3$ ), Uranus ( $1,1 \text{ g/cm}^3$ ) ja Neptunus ( $1,61 \text{ g/cm}^3$ ) ovat keskimäärin veden tiheysluokkaa, mutta Pluto, sikäli kuin sitä vielä tunnetaan, miltei samanlainen kuin Maa, jonka kokoiseksikin se nykyään arvioidaan (massa  $0,8$  Maan massaa).

Täten näyttää siltä, että Maan kokoiset ja sitä pienemmät planeetat ovat rakenteellisestikin suunnilleen samanlaisia kuin Maa. Aineosasten oma vetovoima on aiheuttanut niissä suunnilleen massaan verrannollisen puserruksen, joka on johtanut tähän verrattavaan tiheyteen. Poikkeuksena on Merkurius, josta korkean lämpötilan vuoksi on kaasuuntunut — ja poistunut — sellaisiakin kevyitä aineita, jotka muissa planeetoissa ovat kiinteitä (lämpötila Merkuriuksen Auringon puoleisella pinnalla on n.  $340^\circ \text{C}$ ).

Suuremmissa planeetoissa on aineen sisäinen paine — ainakin keskustassa — moninkertainen esim. Maan keskipisteessä vallitsevaan paineeseen nähden, joten voisi odottaa myös monin verroin suurempia tiheyksiä. Mutta toisaalta juuri alunperin suurempi ainemäärä on myös koonnut ja säilyttänyt paljon enemmän kevyitä ainekomponentteja planeetan rakennosissa. Siten saattaa ulkopuolelta todettavan kaasukerroksen syvyys olla vallan tavaton. Voi myös olla niin, että näiden planeettojen sisuksissa edelleen vallitsee varsin korkea lämpötila, vaikka pinnalla onkin jo vahvoja kylmenneitä kerroksia. Kun me ulkoplaneetoista näemme aina vain Auringon puoleisen pinnan, saattaa olla niin, että siitä mitattu lämpötila myös edustaa pääasiassa Auringon säteilyvaikutuksen takia lämmennyttä pintaa;

varjossa olevalta puolelta olisi mitattavissa ulkopuolisen avaruuden kanssa lämpötasapainossa oleva tilanne. Kun kaikkien suurten planeettojen pyörimisnopeudet ovat suuret (pyörimisajat yleensä 10 tunnin suuruusluokkaa), voitaisiin ehkä pinnan eri reunoilla tehdyistä lämpötilamittauksista hiukan arvioida niiden »takapuolten» lämpötiloja. Valitettavasti täytyisi johtopäätösten tekoa varten sisuosiin nähden myös tuntea kaasukehän rakenne ja ominaisuudet. (Keskilämpötilat ulompien planeettojen Auringon puoleisilla pinnoilla ovat seuraavat: Jupiter  $-130^\circ \text{C}$ , Saturnus  $-153^\circ \text{C}$ , Uranus  $-160^\circ \text{C}$  ja Neptunus  $-165^\circ \text{C}$ .)

Pelkkä vety ja heliumkin voinevat poistua kaikkien Maata pienempien planeettojen vetovoimapiiristä. Kun Maassa rajanopeus kappaleen poistumiseksi siitä on noin  $11 \text{ km/s}$ , jolloin vesihöyry, happi ja typpi (ionisoitumattomina ja hajaantumattomina) kyllä voivat säilyä Maan kaasukehässä, on heliumin ja vedyn pysyminen ulommissa kerroksissa kyseenalaista (keskimääräiset molekyylinopeudet  $0^\circ \text{C}$ :ssa n.  $1300 \text{ m/s}$  ja  $1800 \text{ m/s}$ ). Jupiterissa on rajanopeus n.  $60 \text{ km/s}$  ja Saturnuksessa n.  $35 \text{ km/s}$ , Neptunuksessa ja Uranuksessa n.  $22 \text{ km/s}$  ja muissa pienempi kuin Maassa: Marsissa n.  $5 \text{ km/s}$  ja Merkuriuksessa n.  $4 \text{ km/s}$ . (Kuussa se on n.  $2,3 \text{ km/s}$ .)

Kun Auringosta tuleva hiukkassäteily, jonka hiukkasnopeudet ovat  $500-1500 \text{ km/s}$ , ionisoi Maan ilmakehän uloimpia kerroksia, voivat syntyneet positiivisetkin ionit osasten painosta huolimatta saada sellaisia nopeuksia, että ne voivat poistua Maan vetovoimapiiristä. Sama koskee vielä suuremmassa määrässä sisäplaneettoja. Ulkoplaneetoissa taas hiukkassäteilyn vaikutus on vähäisempi. Kun Merkuriuskin muuten vielä suuruutensa puolesta kuuluisi niihin planeettoihin, joilla on pysyvä kaasukehä, lienee juuri Auringosta lähtevä »hiukkastuuli» pääsyyntä Merkuriuksen pinnan alastomuuteen. Sen albedo on pieni,  $0,06$ , kun esim. Venuksen on n.  $0,6$  ja suurten planeettojen vaihdellen välillä  $0,4-0,5$ . (Kaasukehättömän Kuumme albedo on n.  $0,07$ .)

#### 5. Planeettojen kuut

Kuvasta 4 huomaamme, että Auringon omaa purkausainetta on erilaisilla nopeuksilla jäänyt ohittavien aurinkojen välitilaan. Samoin on jäänyt ohittajan purkaussuihkusta eri nopeuksilla eteneviä osia. Protuberanssien pääosien alkaessa ryhmittä planeetoiksi ovat viimeksi mainitut aineosat ensinnäkin muodostaneet sen jarrutustekijän, joka on muotouttanut planeettojen radat miltei ympyräiksi. Toiseksi on tähän massaan sisältynyt samansuuntainen kiertoimpulssi kuin planeetta-aineeseenkin, mutta siitä riippumaton. On ilmeistä, että tämä materia on muodostanut lähtökohdan planeettakunnan »alkukuille».

Niiden kemiallinen kokoomus olisi siis suunnilleen sama kuin pienten planeettojen (ilman kaasuja ja kevyitä aineita), mutta »mineraalirakenne» olisi vallan toisenlainen. Kun niiden massat ovat pienet, ei synny tarvittavaa suuruusluokkaa olevaa sisäistä painetta eikä korkeita lämpötiloja, joissa ainehiukkasten yhteensu-

lautumista voisi tapahtua. »Alkukuut» ovat siten Auringon purkausmassan raskaista jätteistä koostuneita kappaleita, joissa osaset ovat toisiinsa liittyneet hyvin löysästi. Niissä voi olla myös yhtenäisempiä osia, mutta pääasiassa ne varmaan ovat suuria »sora- ja tomupalleroita».

Mutta on toisenlaisiakin kuita. Esimerkkinä niistä on Maan Kuu. Sen kuvitelun syntyhistorian on tämän kirjoittaja esittänyt kirjassa *Maapallon kasvot* ja siten täydentänyt näkemystä artikkelissa *Kuun syntyolettamusten kritiikkiä ja uusi kuuteoria*.<sup>10</sup> Tähän liittyviä uusia oivalluksia on lisätty kirjassa *Planeettapari Maa ja Kuu*.<sup>11</sup> Viimeksimainitussa teoksessa on päädytty siihen, että Kuu ainakin hyvin kauan on ollut Maan kaksoisplaneetta, jonka etäisyys Maasta on vuosimiljoonien kuluessa jaksollisesti vaihdellut esim. ratojen erilaisten kaltevuuksien ja solmujen siirtymisen seurauksena.

Ovatko tämän planeettaparin molemmat komponentit syntyneet samanaikaisesti suunnilleen samalle etäisyydelle Auringosta on selvittämättä, mutta ei täysin mahdotonta. Tuokon lakikaan ei täysin sulje pois tällaista tapausta ja esim. Jupiterin pikkuplaneettojen ns. Troijalaisryhmän olemassaolo vahvistaisi käsitystä, että näin voi olla.

Toisaalta ei vielä voida osoittaa mahdottomaksi sitäkään, että Kuu olisi Jupiterin ja Marsin väliltä puuttuvan planeetan rippeitä, niin kuin saattaisivat olla esim. Jupiterin, Saturnuksen ja Neptunuksen suuret kuut ja koko Pluto-planeetta. Kun näiden sisäinen rakenne saadaan selville, voidaan myös päätellä kumpaa tietä ne ovat muodostuneet.

Tapausta, jossa »puuttuva planeetta» olisi hävinnyt aurinkokunnasta ja hajonnut pikkuplaneetoiksi, meteoriparviksi ja pyrstötähdiksi, on myös käsitelty kirjassa *Maapallon kasvot*.

## 6. Pikkuplaneetat, meteoriparvet, Saturnuksen ja Maan renkaat sekä Marsin kanavat

Kirjoittaessani *Maapallon kasvoihin* lukua »Katastrofi aurinkokunnassa» totesin jo, ettei minun olisi pitänyt sitä silloin kirjoittaa, koska siinä käsitellyt asiat eivät olleet minulle riittävästi kirkastuneet. Luvusta tulikin »tekemällä tehty». Onneksi eivät tietoni vielääkään ole lisääntyneet sillä tavalla, että haluaisin vetää viivan siinä esitettyjen ajatusten yli.

Pikkuplaneettojen rakennetta ei tosin millään varmuudella tunneta, mutta monista seikoista on pääteltävissä, että ne ovat suhteellisen kiinteästä aineesta rakentuneita kappaleita. Esim. Eroksen satunnaiset valovoimakkuuden vaihtelut, jotka toisinaan esiintyvät jaksoittaisina, selvittyisivät hyvin, jos se olisi muodol-

taan epäsäännöllinen kuin suuremmasta kappaleesta irti singahtanut lohcare, jonka pinnalla luonnollisesti myös saattaisi olla massojen keskinäisen vetovoiman vaikutuksesta siihen kokoontuneita muita pienempiä kappaleita aina tomuhiukkasta alkaen. Maahan pudonneista meteoriiteista taas nähdään, että niissä on rakenteeltaan samanlaisia aineksia kuin Maassakin. Niin pieniin kappaleisiin ei aine voi koostua sellaiseksi, jos se alunperin on avaruuden pikkuhiukkasia. Ne ovat siis joskus olleet osina Maata muistuttavassa planeetassa. Pyrstötähdissä taas on sekä kiinteämpiä osia että kevyempiä osasia, jotka viimeksimainitut Auringon läheisyydessä »hiukkastuulen» vaikutuksesta jäävät raskaammista osasista jälkeen ja muodostavat juuri näille »tähdille» nimen antavan pyrstön. On perustellusti oletettava, että mikä hyvänsä suuri meteori tai pikkuplaneetta Auringon läheisyydessä muuttuisi pyrstötähdiksi. Ilmeisesti on kuitenkin niin, että ne, joiden radat ovat riittävän lähellä Aurinkoa (ja suhteellisen pyöreitä ellipsejä), jo aikapäiviä ovat menettäneet pyrstöaineiksensa, joten jäljellä ovat vain kullakin etäisyydellä riittävän suuriksi katsottavat kiinteämmät hiukkaset, joita keskinäinen vetovoima pitää yhdessä.

*Maapallon kasvoissa* olen myös asiaa pitempään miettimättä esittänyt Saturnuksen renkaat pyrstötähdistä muodostuneiksi, jotka tämä suuri planeetta on »kiertänyt ympärilleen kuin langan kerälle». Itse asiassa tällainen pyrstötähti olisi juuri samanlainen kasaantuma särkyneen planeetan jätteitä kuin miksi pikkuplaneetta muuttuisi kulkiessaan ROCHEN rajan yli. Joukossa saattaa ehkä olla suurempiakin kappaleita — jotka nyt myös voivat olla Saturnuksen itsenäisinä kuina — mutta pääosat hiukkasista ovat varmaan kooltaan ehkä kuitenkin tulivuoritomun ja tuhkan rakeiden suuruusluokkaa, taikka jääkiteitä, sillä vettä on joka tapauksessa myös suurehkon planeetan jäättiläispurkauksessa kokonaan hajo- tessa joutunut avaruuteen tavattomia määriä.

Osoitus siitä, että myös Maalla on samantapainen, mutta valovoimakkuudeltaan tavattoman paljon heikompi rengasjärjestelmä kuin Saturnuksella, on esitetty kirjassa *Planeettapari Maa ja Kuu*. Kun toisaalta on pidettävä selvitetynä, että Maa on suhteellisen läheisessä menneisyydessä siepannut Kuun nykyiselle radalleen ja että siinä yhteydessä Maassa on tapahtunut valtava purkaus, lankeaa miltei luonnostaan, että tämän purkauksen jätteet ja Kuusta samalla kertaa purkautunut aines tai siitä irronnut tomu ovat aikanaan muodostaneet valtavan tomurenkaan Maan ympärille. Nykyinen Maan rengas, jonka ainoana näkyvänä merkinä on eläinratavallo, on vain vähäinen jäte tästä muodostumasta.<sup>12</sup>

Marsin kanavatkin voivat edellä esitetyillä perusteilla saada uuden, hyvin todennäköiseltä vaikuttavan selityksen, joka samalla tekisi ymmärrettäväksi sen, että nämä kanavat nähdään paljaalla silmällä mutta ei valokuvissa. Olkoon Mars itse joko »alkuplaneetta» taikka jättekappale toisesta »katastrofiin aurinkokun-

<sup>10</sup> AARNO NIINI, *Kuun syntyolettamusten kritiikkiä ja uusi kuuteoria*, *Arkhimedes*, N:o 2/1962, Helsinki.

<sup>11</sup> AARNO NIINI, *Planeettapari Maa ja Kuu*, Porvoo—Helsinki 1963, ss. 223—249.

<sup>12</sup> Ks. *Planeettapari Maa ja Kuu*, luku V, Maan rengas ja Eläinratavallo. Tästä on myös erillinen julkaisu *Eläinratavallo ja Maan rengas*, Helsinki 1963, jossa on englanninkielinen yhteenveto *The Zodiac Light and Earth's Rings*.



nassa» osallistuneesta suuremmasta planeetasta<sup>13</sup>, joka tapauksessa se on koko ikänsä — tai koko pikkuplaneettojen iän — ollut »puuttuvan planeetan» hajotessa syntyneeseen »sirpalesateeseen» nähden paljon vaarallisemmassa asemassa kuin esim. Maa. Erityisesti, jos Mars on ollut toinen osapuoli näiden sirpaleiden synnyttämisessä, on niitä sinne myös satanut takaisin vallan määrättömästi.

Nyt on kuin itsestään selvää, että pikkuplaneetta, jota ainakin alkuperäisessä kokoomuksessaan voisimme verrata avaruuteen heitettyyn valtavaan kouralliseen hiekkaa ja soraa — joukossa myös suuria pultereita —, Marsia lähestyessään viimeistäänkin ROCHEN rajalla Marsin »vuoksivoiman» vaikutuksesta hajoaa muuttuen eri nopeuksilla keskuskappaletta lähestyväksi hiukkasjonoksi. Kun tämän jonon suurehkot osat iskeytyvät Marsin pintaan, syntyy niistä rivi »pommi-kuoppia», jotka Maasta käsin katsojalle muodostavat yhtenäisiä himmeämpiä viivoja, »kanavia». Valokuvissa sensijaan eivät yksityiset kuopat tule näkyviin, eikä niiden muodostamia jonojakaan siten erotu. Kysymyksessä ei siis olisi mikään näköharha, vaan ilmeisesti silmän valoistimuksia vastaanottavien elinten suhteellisen suuri koko, joka antaa yhdistetyn valovaikutuksen.

<sup>13</sup> Ks. *Maapallon kasvot*, ss. 173—174.

## JULIAANINEN JAKSO

Kirj. ERKKI KÄÄRIÄINEN

Juliaaninen periodi on ajanlaskussa käytössä oleva jakso, jossa määrätystä ajan- kohdasta alkaen lasketaan eli numeroidaan vuorokaudet jatkuvasti, joten jokai- sellä vuorokaudella tässä jaksossa on oma järjestyslukunsa. Siten esimerkiksi tammikuun 1. päivä v. 1965 oli tämän ajanlaskun 2 438 762. päivä ja vuosi 1965 sen 6678. vuosi. Näin menetellen kahden tapahtuman välinen pitkäkin ajanjakso on helpommin laskettavissa tarkasti vain kahden vuorokausiluvun erotuksena kuin jos tapahtuma-ajat ilmoitetaan tavalliseen tapaan vuosina, kuukausina ja päivinä, ovathan sekä vuodet että kuukaudet keskenään eripituisia. Juliaanisen jakson päivien laskutapa on edelleen käytössä tähtitieteessä eräiden ilmiöiden ja tapahtumien ajankohtia määrättäessä, esimerkiksi muuttuvien tähtien valo- voiman maksimien ja minimien ajankohdat ilmoitetaan juliaanisen jakson päi- vinä. Juliaanisen jakson päivämäärätaulukot ovat yleensä löydettävissä ammatti- kirjallisuudesta — oppi- ja käsikirjat, ajanlaskun erikoisteokset, taulukot ja tau- lukkokoelmat — mutta lähempiä selityksiä ja tietoja asian ymmärtämiseksi ja jonkinlaisen historiallisen taustan saamiseksi saa näistä turhaan hakea. Tämän kirjoittaja on eri lähteistä koonnut siitä eräitä tietoja, joita hän tässä tarjoaa lukijallekin.

Juliaanisen jakson ehdotti käytäntöön otettavaksi italialais-ranskalainen filologi JOSEF JUSTUS SCALIGER (1540—1609), joka teoksillaan laski pohjan vanhan ajan kronologian tieteelliselle tutkimukselle. Hän ilmoitti v. 1581 jakson alkuhetkeksi keskipäivän hetken tammik. 1. p:nä 4713 eKr. ja ylisti kirjoituksissaan tämän jakson etuja. Edelleen hän mainitsee nimittäneensä jakson juliaaniseksi sen täh- den, että se perustuu juliaaniseen vuosilukuun. Näin ollen nimi ei olisi annettu SCALIGERIN isän, luonnontutkija JULIUS CAESAR SCALIGERIN mukaan kuten asiaa käsittelevissä julkaisuissa yleensä on mainittu, mm. *Grosser Brockhaus* väittää näin. SCALIGER tunnetaan myös hänen aikanaan tapahtuneen gregoriaanisen kalenteriuudistuksen vastustajana, joten tämäkin osaltaan selittää sen, miksi hän otti laskuperustaksi juliaanisen vuoden. Alkuvuoden 4713 eKr. määrittämisessä hän todennäköisesti on saanut apua aikansa lukuisilta matemaatikoilta ja lasku- mestareilta, myöhemmin on tätä asiaa käsitellyt mm. tunnettu sveitsiläinen matemaatikko JACOB I BERNOULLI (1654—1705). Juliaanisen päivämäärän lasku- perusteet julkaisi kuuluisan WILLIAM HERSCHELIN poika JOHN F. W. HERSCHEL (1792—1871) teoksessaan *Outlines of Astronomy*. Sitä on käyttänyt myös itä-

valtalainen THEODOR VON OPPOLZER (1841—1886) pimennystaulukossaan. *Nautical Almanac* julkaisi päivämäärätaulukot ensi kerran v. 1880, *Berliner Astronomisches Jahrbuch* v. 1899 ja Amerikassa ne ilmestyivät ensi kerran v. 1925 vuosikirjassa *The American Ephemeris* . . . Siten tämä ajanlaskutapa tuli aikanaan yleiseen kansainväliseen käyttöön. Kun päivien järjestysluvut ovat nykyisin 7-numeroisia lukuja, näkee niistä usein käytettävän vain neljää viimeistä numeroa. Siten tammik. 1 p:n järjestysluku 1965 merkitään lyhyesti 8762.

Mikä sitten on tämä juliaaninen jakso? Sen elementeistä mainittakoon tässä seuraavat vuosijaksot:

### 1. Aurinkojakso

Juliaanisessa kalenterissa muodostaa neljä vuotta karkausvuosijakson ja seitsemän vuorokautta viikon. Siten  $4 \cdot 7 = 28$  vuotta muodostaa kronologisen yksikön, jossa viikon päivät jakson alusta sen loppuun juoksevat määrättyssä järjestyksessä. Edellisen jakson loppuessa ja uuden alkaessa viikonpäivät uusiutuvat uudessa jaksossa samoille kuukauden päiville kuin edellisessäkin jaksossa, eri jaksojen vastaavat vuodet ovat siis viikonpäiviin nähden samanlaiset. Tälle perustalle ovatkin ns. »ikuiset kalenterit» laaditut. Ensimmäisen aurinkojakson alku pantiin ajankohtaan 9 v ennen tavallisen ajanlaskumme alkua, joten ajanlaskumme ensimmäinen vuosi on aurinkojakson kymmenes vuosi.

### 2. Kuujakso ja kultainen luku

Yksi synodinen kuukausi, kronologian mielenkiintoinen aikaväli uudesta kuusta uuteen kuuhun on 29.5305882 vrk ja edellyttäen, että tässä *kuukuukaudesta* on vaihdellen 29 ja 30 vuorokautta, saadaan kuuvuoden pituudeksi 354 vrk. Aurinko- ja kuuvuoden erotus kasvaa vasta 19 aurinkovuodessa sellaiseksi luvuksi vuorokausia — 209 —, joka jakautuu täysiksi *kuukuukaudeksi*. Saadaksemme 19 aurinkovuotta liitetään yhdeksääntoista kuuvuoteen 6 karkauskuukautta, joissa kussakin on 30 vrk ja vielä loppuun 1 kk, jossa on 29 vrk. Siten tullaan lukuun  $354 \cdot 19 + 30 \cdot 6 + 29 = 6935$  vrk, joka jakautuu 235 *kuukuukaudeksi*. (Aivan tarkkaan ei näin ole asianlaita, sillä 235 synodista kuukautta on 6939.688 vrk, kun taas kuujakson pituus on  $19 \cdot 365.25 = 6939.750$  vrk. Ero 0.062 vrk eli  $1^h 29^m 3$  on kuitenkin pieni.) Joka karkausvuosi tulee siihen *kuukuukauteen*, johon helmikuun 23. päivä kuuluu, lisätä 1 vrk. Jos karkausvuosi sattuu jakson 1., 2. tai 3:ksi vuodeksi, jakso sisältää 5 karkausvuotta, mutta vain neljä karkausvuotta, jos 1. karkausvuosi sattuu jakson neljänneksi vuodeksi. Edellisissä tapauksissa on jaksossa 6940 vrk ja jälkimmäisessä 6939 vrk. Sen keskimääräinen pituus on siten 6939.75 vrk eli juuri 19 juliaanista vuotta sen pituuden ollessa 365.25 vrk. Jakson kuluttua ovat uudet kuut jälleen uudessa jaksossa samoina kuukauden päivinä kuin edellisessäkin jaksossa. Siten voidaan kuun vaiheet laskea mielivaltaiselle vuodelle, kun vain tämän järjestysluku jaksossa tunnetaan. Siis niinä vuosina, joilla on eri jaksoissa sama jaksoluku, ns. *kultainen luku*, on uusikuu ja muut kuun vaiheet samoina kuukauden päivinä. Tämä METONIN v. 433 eKr. keksimän jakson alku on DIONYSIOS EXI-

GUUKSEN (k. 545) ja hänen edeltäjänsä KYRILLOS ALEKSANDRIALAISEN (k. 444) mukaan pantu ajanlaskumme alkua edeltävälle vuodelle.

### 3. Dionysioksen jakso

Tämä on edellisten jaksojen yhdistelmä käsittäen siis  $28 \cdot 19 = 532$  vuotta. Tämän jakson kuluttua toistuu uusikuu jälleen paitsi samoina kuukauden myös samoina viikonpäivinä kuin kuluneenkin jakson aikana. Tämä jakso on saanut nimensä jo mainitun DIONYSIOS EXIGUUKSEN mukaan, hän käytti sitä pääsiäissunnuntain määrittämiseen, siitä myös nimi *suuri pääsiäisjakso*. Ensimmäisen herätteen antoi tosin jo v. 457 paavi HILARIUS (461—468) antaessaan kirkon kalenterin parantamisen VIKTORIUS AQUITANIALAISEN tehtäväksi. Siksi puhutaan myös *viktoriaanisesta jaksosta*, mikä oli käytössä gregoriaaniseen kalenterireformiin asti.

### 4. Indiktiojakso

ei perustu kuten edelliset astronomisiin aikayksikköihin vaan oli alkuaan verojakso, sillä joka 15 vuoden jälkeen Rooman valtakunnassa suoritettiin veroluetteloiden uudistus. Ensimmäinen merkintä indiktio-sanana käytöstä ajanlaskussa on ATHANASIUKSEN kirjoituksissa siinä kohdassa, missä hän selittää v. 341 pidettyä Antiokian kirkolliskokousta. Tämä varsinaisesti kreikkalainen indiktio pantiin DIONYSIOS EXIGUUKSEN laskujen mukaan alkamaan v. 312 ja vielä tarkemmin sanoen syyskuun 1. päivänä eli myöhemmän bysanttilaisen vuoden alkuhetkestä. Lännessä jakson aluksi vahvistettiin 1. päivä tammikuuta v. 313. Koska jakson pituus on 15 vuotta, lankeaa taapäin laskien ajanlaskumme 1. vuosi tämän jakson neljännelle vuodelle. Indiktiojakso oli keskiaikana yleisesti käytössä erikoisesti Italiassa, Ranskassa ja Saksassa.

### 5. Juliaaninen jakso

on aurinko-, kuu- ja indiktiojaksojen vuosilukujen tulo eli  $28 \cdot 19 \cdot 15 = 7980$  vuotta. Tässä pitkässä jaksossa ei millään kahdella vuodelle ole samoja lukuja kaikissa kolmessa jaksossa, koska luvuilla 28, 19 ja 15 ei ole yhteistä tekijää. Vasta kun nämä kaikki jaksot ovat kuluneet, toistuvat nämä erilaiset lukukolmikot samassa järjestyksessä kuin edellisessä jaksossa ja jokainen vuosi on samanlainen kuin vastaava vuosi muissa juliaanisisissa jaksoissa. Juliaanisen jakson jokaisella vuodelle on määrätty järjestyslukunsa, joka määräytyy heti kun tämä järjestysluku vuodelle 1 ajanlaskun alussa on tunnettu. Kuten jo on mainittu, tämä vuosi 1 on aurinkojakson kymmenes, kuujakson toinen ja indiktiojakson neljäs vuosi. Vuodelle 1 tulee siis se juliaaninen järjestysluku, joka jaettuna 28:lla antaa jakojäännöksen 10, 19:llä jaettuna antaa jakojäännöksen 2 ja 15:llä jaettuna antaa jakojäännöksen 4. Luku 4714 on sellainen. Siten ensimmäinen juliaaninen päivä, lyhennettynä *J. D.* (*Julianus dies*, *Julian Date*, *Julianisches Datum*) alkaa tammikuun 1. päivänä astronomista vuotta —4712 (= 4713 eKr.) ja vielä tarkemmin klo 12 yleisaikaa siis astronomisen päivän alkaessa, joka sattuu 12<sup>h</sup> porvarillisen vuorokauden alkua myöhemmin.

Juliaanisen jakson täysi käytännöllinen hyöty tulee esille juuri päivälaskun yhteydessä. Tällöin on erotettava toisistaan juliaaninen päivän järjestysluku (*Julian Day Number*), joka on klo 12 yleisaikaa alkavan päivän järjestysluku ja Juliaaninen päivämäärä (*Julian Date*), joka yleensä on desimaaliluku ja ilmoittaa kuluneen ajan keskiaurinkovuorokausissa ja sen osissa hetkestä 1/1 4713 eKr. klo 12 yleisaikaa ko. hetkeen asti. Viikonpäivä saadaan selville jakamalla *J. D.* luvulla 7. Jos jakojäännös = 0, on kyseessä maanantai, jos se = 1, tiistai jne. Kun juliaaninen päivälasku alkaa nolasta, on klo 24 tammikuun 1. päivänä v. —4712 *J. D.* = 0.5 ja tammikuun 6. päivänä klo 12 yleisaikaa on kulunut 5 täyttä juliaanista vuorokautta ja *J. D.* = 5.0, sen sijaan on keskipäivällä tammikuun 6. päivänä porvarillinen päivämäärä 6.5. Kääntäen on järjestyslukua korotettava, jos esimerkiksi määrättyyn ajankohtaan on kulunut 605.7 juliaanista vuorokautta, on kysymyksessä 606. juliaaninen vuorokausi.

Annetun juliaanisen kalenterin mukainen päivämäärän muuttaminen *J. D.*:ksi tapahtuu esim. JOHN HERSCHELIN säännön mukaan. Siinä lasku tapahtuu porvarillisissa vuorokausissa ja siksi on muistettava, että juliaaninen jakso alkaa 12<sup>h</sup> aikaisemmin. Lähdetään siis kulumassa olevasta vuosiluvusta, siitä vähennetään yksi ja lisätään 4713. Siten saatu juliaanisen jakson vuosi jaetaan neljällä, jolloin saadaan *N* kokonaista karkausvuosijaksoa, kussakin 1461 vuorokautta ja jakojäännös *R*. Ensimmäinen jäännösvuosi on aina karkausvuosi, sellaisella on myös juliaaninen jakso alkanut ja sitten toistuvat ensimmäisen karkausvuosijakson luvut muissa jaksoissa seuraavasti:

kuluneiden vuosien luku  $R = 0, 1, 2, 3$   
 kuluneiden vuorokausien luku 0, 366, 731, 1096

Siten *R* ylläolevan taulukon mukaan vuorokausiksi muutettuna  $+ N \cdot 1461$  on vuorokausien lukumäärä juliaanisen jakson alusta hetkeen 31.12. klo 24 edellistä vuotta. Tähän lisätään kulumassa olevan vuoden päivät 1:stä tammikuuta annettuun päivään tavallisen vuoden mukaan, jos  $R = 1, 2$  tai 3, ja karkausvuoden mukaan, jos  $R = 0$ . Tämän laskun helpottamiseksi annetaan alla taulukko, jossa on kunkin kuukauden 1. päivään klo 0 kuluneiden vuorokausien luku erikseen tavalliselle ja karkausvuodelle:

kk	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
tav. vuosi	0	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334
karkausvuosi	0	31	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335

Näin määräytyy juliaanisen jakson alusta laskettujen täysien vuorokausien lukumäärä. Lisäämällä 1 saadaan kulumassa olevan päivän *J. D.* järjestyslukuna. Esimerkki: Mikä on *J. D.* päivämäärälle 2. 9. 1752, joka oli Englannissa juliaanisen kalenterin viimeinen voimassaolopäivä? Lasku:  $1752 - 1 = 1751$ ,  $1751 + 4713 = 6464$ ,  $6464 : 4 = 1616 (= N)$ ,  $R = 0$ .  $1616 \cdot 1461 = 2\,360\,976$ , lisäksi tulee karkausvuoden ( $R = 0$ ) mukaisesti laskettujen täysien vuorokausien luku het-

kestä 1. 1. 1752 klo 0 hetkeen 1. 9. 1752 klo 24 = 245 vrk. Siis  $2\,360\,976 + 245 + 1 = J. D. 2\,361\,222$ .

Aikavälien pituuksia laskettaessa voidaan tietysti käyttää yksinomaan juliaanisen kalenterin mukaista päivälaskua. Annetun gregoriaanisen kalenterin mukaisen päivämäärän muuttaminen *J. D.*:ksi tapahtuu aluksi täysin kuten yllä. Sitten otetaan huomioon korjaus, joka johtuu siitä, että gregoriaanisen kalenterin mukaan päivämäärää 4. 10. 1582 seuraa välittömästi 15. 10. 1582 ja että vuodet 1700, 1800, 1900, 2100 jne. eivät ole karkausvuosia. Juliaanisen kalenterin mukaan laskettaessa jää gregoriaaninen kalenteri siihen nähden jälkeen, joten »vanhan laskun» mukaisesti lasketusta *J. D.*:n luvusta on vähennettävä

10 vuorokautta ajalle ennen 1. 3. 1700  
 11 vuorokautta ajalle jälkeen 28. 2. 1700 ja ennen 1. 3. 1800  
 12 vuorokautta ajalle jälkeen 28. 2. 1800 ja ennen 1. 3. 1900  
 13 vuorokautta ajalle jälkeen 28. 2. 1900 ja ennen 1. 3. 2100 jne.

Esimerkki: Mikä on *J. D.* gregoriaanisen kalenterin mukaiselle päivämäärälle 31. 8. 1958? Juliaanisen kalenterin ja ylläesitetyn laskun mukaan on 31. 8. 1958 klo 24 mennessä kulunut 2 436 461 juliaanisen periodin vuorokautta, vähentämällä 13 saadaan 2 436 448, joka on ko. juliaaninen vuorokauden järjestysluku gregoriaanisessa kalenterissa, 31. 8. 1958 klo 12 yleisaikaa oli siis kulunut 2 436 447 juliaanisen periodin vuorokautta. Käytännöllistä ja laskulle mukavampaa on merkitä kuukauden viimeistä vuorokautta seuraavan kuukauden nolanneksi vuorokauksi, kuten taulukoissa yleensä onkin tehty. Tarpeen mukaan otetaan huomioon tunnit, minuutit ja sekunnit vuorokauden desimaaleina. Esimerkiksi haluttaessa tietää, montako juliaanisen jakson vuorokautta on kulunut jakson alusta ajankohtaan 24. 1. 1963 klo 17 Suomen virallista aikaa (= 15 yleisaikaa), lisätään laskettuun *J. D.*:iin 2 438 054 (= 24. 1. 1963 klo 12 yleisaikaa) 3 tuntia vuorokauden osina ja tulos on *J. D.* 2 438 054. 125.

Ursan julkaisussa *Tähtitieteen harrastajan kirja* on sivulla 144 valmiiksi laskettu taulukko juliaanisista päivämääriä varten ajalle 1945—1969, lukija voi sitä nyt helposti laajentaa haluamaansa ajankohtaan.

Nykyisissä tähtitieteellisissä käsikirjoissa näkee esitettävän myös efemeridiaikaan perustuvan juliaanisen jakson luvun (*J. E. D.* = *Julian Ephemeris Date*). Se eroaa edellisestä vain sikäli, että yleisajan tilalle tulee efemeridiaika, joten vuorokauden järjestysluku muuttuu klo 12 efemeridiaikaa. Efemeridiaika on nykyään 35 sekuntia yleisaikaa edellä.

Mainittakoon vielä, että samoissa käsikirjoissa on myös tähtivuorokaudet lueteloitu aivan vastaavalla tavalla. Tähtivuorokaudellahan tarkoitetaan kevättasauspisteen kahden peräkkäisen yläkulminaation välistä aikaa, joka on n. 4 minuuttia keskiaurinkovuorokautta lyhyempi. Puhutaan siis tähtiikaan perustuvasta päivämäärästä (*sidereal date*), joka siis on juliaanista päivämäärää suurempi luku. Sen nolakohta on sen tähtivuorokauden alku eli kevättasauspisteen yläkul-

minaatiohetki, jolloin  $J. D. = 0$ . Nämä päivämäärät ovat tietenkin muutettavissa toisikseen tuntemalla nollakohtien välinen ero ja keskiaurinko- ja tähtivuorokauden suhde. Niinpä Greenwichin tähtiaikaan perustuva päivämäärä

*Greenwich sidereal date* =  $+0.671 + 1.0027379093 \cdot \textit{Julian date}$

ja kääntäen

*Julian date* =  $-0.669 + 0.9972695664 \cdot \textit{Greenwich sidereal date}$ .

Niinpä *sidereal date* 1. 1. 1965 oli 2 445 440.

## MERIMIEHEN OPPAAT KOCHABISTA TEKOKUUHUN

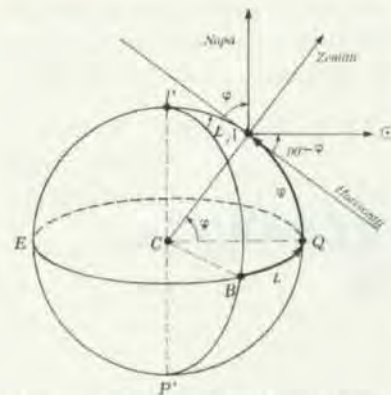
Kirj. H. TUORI

Greenwichin tähtitorni perustettiin 1675 »taivaan liikkeitä ja kiintotähtien paikkoja koskevien taulukoiden oikaisemista varten, jotta voitaisiin määrittää kovin kaivattu pituus ja siten saada merenkulun taito täydellisemmäksi». Tämä lainaus perustamisasiakirjasta osoittaa selvästi, kuinka tärkeä tähtitiede on ollut merenkululle. Laivan ohjaamiseksi määräsätamaan on pystyttävä ratkaisemaan kaksi tehtävää, sen paikan määrittäminen ja sen jälkeen oikean suunnan antaminen sille. Kun ollaan niin lähellä rannikkoa, että näkyvissä on tuttuja tai kartalle merkittyjä yksityiskohtia, ovat molemmat tehtävät helpot. Vaikeuksiin joudutaan, kun näkyy vain aava meri ja sen yllä kaartuva taivas sekä näiden rajaviiva, horisontti. Aikojen kuluessa on kuitenkin keksitty keinoja näidenkin vaikeuksien voittamiseksi, ja tähtitieteellä on siinä ennen kaikkea ollut merkittävä osuutensa.

### Arvioimisesta solmunuoraan

Kehityksen alkua on lähdettävä hakemaan länsimaisen sivistyksen kehdestä, itäisen Välimeren maista, ja ajalta n. 1000 vuotta ennen ajanlaskumme alkua. Vaikkakaan vanhan ajan Välimeren purjehtijat eivät yleensä rohjenneet etäännyä rannikosta näköetäisyyttä kauemmaksi, oli poikkeuksiakin. Esimerkiksi kreeta-laisten tiedetään purjehtineen jo 800 eKr. suoraan kotisaareltaan Egyptiin n. 300 meripeninkulman matkan, joka suotuisimmallakin tuulella vei vähintään kaksi vuorokautta. Tällä matkalla oli jo pakko käyttää suunnan määrityksessä apuna joko Aurinkoa tai tähtiä. Edellisestä tiedettiin, että kun se keskipäivällä oli korkeimmillaan, se oli aina samassa suunnassa, etelässä. Tähdistä voitiin suunnan määritykseen parhaiten käyttää Kochabia ( $\beta$  Ursae minoris), jonka etäisyys navasta oli siihen aikaan n.  $7^\circ$ , kun taasen nykyinen Pohjantähti ( $\alpha$  Ursae minoris) oli  $14^\circ$ :n päässä. Koska havaitsijoilla ei ollut mitään välineitä mittausten suorittamiseksi, näytti tähti, joka kiersi niinkin lähellä taivaan napaa, pysyvän paikallaan ja osoittavan aina samaan suuntaan, pohjoiseen. Suunnanmääritystehtävä oli siis ainakin auttavasti ratkaistu.

Tähtitieteellinen paikanmääritys edellytti tietoa Maan todellisesta muodosta. Sen sijaan ei ollut mitään käytännöllistä merkitystä sillä seikalla, pyöriikö tähti-



Kuva 1. Piste A maantieteellinen leveys ja pituus

taivas taivaan akselin ympäri, kuten näytti, vai pyörikö Maa akselinsa ympäri. Kunnia Maan pallomaisuuden keksimisestä kuuluu kreikkalaisille filosofeille PYTHAGORAALLE (n. 580—500 eKr.) ja PARMENIDEELLE (n. 504—450 eKr.). Vanhan ajan tunnetuin tähtitieteilijä HIPPARKHOS (n. 150—100 eKr.) kehitti menetelmän ilmaista pisteen paikan maapallolla maantieteellisten koordinaattien, leveyden ja pituuden avulla. Edellisellä tarkoitetaan kulmaa  $\varphi$  (kuva 1), jonka sanottuun pisteeseen A vedetty säde CA muodostaa ekvaattoritason EBQ kanssa, ja jälkimmäisellä pisteen A kautta kulkevan meridiaanitason PAQP'E ja tietyn perusmeridiaanitason PBP' välistä kulmaa L. Maissa pystyttiin leveys mittaamaan gnomonilla, joka oli yksinkertaisesti maahan pistetty pystysuora keppi. Vertaamalla sen keskipäivän aikaan heittämän varjon pituutta sen omaan pituuteen saatiin selville Auringon korkeuskulma. Suorittamalla tämä mittaaminen päiväntasauksen aikaan saatiin paikan leveys määritetyksi. Kuvan 1 mukaan on Auringon korkeus tällöin  $90^\circ - \varphi$ , koska se on silloin päiväntasaajan tasossa. Muulloin tätä keinoa ei voitu käyttää, sillä almanakkoja ei ollut ilmoittamassa Auringon deklinaatiota. Menetelmä ei myöskään kelvannut merelle, jossa sen sijaan pohjoissuunnan näyttäjää Kochabia voitiin käyttää havaintokohteena leveyttä määrittäessä. Kuvan 1 mukaan on navan korkeus sama kuin havaintopaikan leveys  $\varphi$ . Kochabin korkeuden mittaaminen oli kyllä vaikeata heiluvassa laivassa. Karkeita arvioita saatiin havaitsemalla, millä kohtaa tähti näkyi esimerkiksi ruorimiehen paikalta maston tai jonkin takilan yksityiskohdan suhteen. Tällöin käytettiin mittayksikkönä useimmiten pituusyksikköjä, vaikka tähtitieteilijät jo tunsivat kulmayksikötkin. Näin menetteli mm. pitkistä merimatkoistaan tunnettu maantieteilijä STRABO (n. 63 eKr.—25 jKr.), HIPPARKHOKSEN arvellaan tosin keksineen astrolabin, jonka muodosti kädestä riiputettava ympyrän kehä ja sen keskipisteen ympäri kääntyvä tähtäinlaite. Suuntaamalla viimeksimainittu tähteä kohden voitiin mitata tähtäyssuunnan ja luotiviivan muodostama kulma. Merimiehet tuskin laitetta tunsivat.

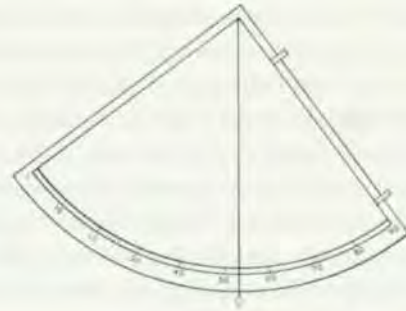
PTOLEMAIOS (110—160? jKr.) ilmoitti suuressa maantieteellisessä teoksessaan *Geographia* (*Cosmographia*) useiden paikkakuntien leveydet ja pituudet. Jälkimmäisiä ei kuitenkaan pystytty lainkaan tähtitieteellisesti mittaamaan, koska ei ollut olemassa tarpeeksi tarkkaa ajannäyttäjää. Tätä olisi tarvittu, sillä kahden paikan pituuksien ero on sama kuin niiden paikallisaikojen ero. PTOLEMAIOKSEN ilmoittamat pituudet olivatkin paikkojen välimatkojen perusteella arvioituja ja sen vuoksi erittäin virheellisiä. Edellytyksenä pituuksien tällä tavoin määrittämiselle oli maapallon koon tunteminen. Sen oli kyllä Egyptissä jo ERATOSTHENES (276—195 eKr.) menestyksellisesti arvioinut. Merellä ei pituutta voitu lainkaan määrittää.

Siirrymme Välimereltä Pohjois-Atlantille ja ajassa 800-luvulle jKr. Viikingit aloittivat uhkarohkeat purjehduksensa aina Amerikan mantereelle saakka. Heidän tiedetään käyttäneen suunnanmäärittämisessään keskipäivän Aurinkoa ja Pohjantähteä, joka tällä välin oli presession vaikutuksesta siirtynyt vuorostaan n.  $7^\circ$ :n päähän navasta, kun taas Kochab oli etääntynyt  $12^\circ$ :n päähän. Pohjantähti oli helposti löydettävissä Otavan nelikulmion kahden äärimmäisen tähden ( $\alpha$  ja  $\beta$  Ursae majoris) avulla. Kumpaakin, sekä Aurinkoa että Pohjantähteä, on ilmeisesti käytetty myös leveyden määrittämiseen seuraavalla tavalla. Kokemuksesta tiedettiin esimerkiksi, että Norjan läntisimmässä kärjessä Stadissa ja Fär-saarilla Pohjantähti näkyy samalla korkeudella, joten nämä paikat ovat samalla leveydellä. Viikingeillä tosin ei voinut olla täsmällistä käsitystä leveydestä niin kuin oli vanhan ajan viisailla. Suotuisella tuulella voitiin turvallisesti lähteä Norjasta ja purjehtia siten, että Pohjantähti koko ajan pysyi samalla korkeudella, kunnes muuttaman vuorokauden kuluttua Fär-saaret tulivat näkyviin. Keskipäivän Aurinkoa voitiin käyttää samalla tavalla, koska sen deklinaatio ei ennättänyt muutaman päivän aikana sanottavasti muuttua. Varmoja tietoja korkeuskulmien mittaustavoista ei ole säilynyt. Voidaan olettaa käytetyn hyväksi tietoa, että peukalon ja pikkusormen väli käden ollessa ojennettuna ja kämmenen levitettyinä peittää tietyn kulman (n.  $20^\circ$ ).

Toisen vuosituhannen alkaessa tuli käyttöön kompassi ja pari sataa vuotta myöhemmin merikartta, jotka varsinkin Välimeren merenkulussa merkitsivät suurta edistysaskelta. Keskiajan loppupuolella oli meriliikenne hyvin vilkasta myöskin Intian valtamerellä ja sen lahdissa. Purjehdittaessa etelä-pohjoissuuntaan pitkin Afrikan itärannikkoa ja Punaisella merellä ei paljoa tarvinnut välittää laivan aseman pituudesta. Koska rannikko oli matalaa ja yksitoikkoista, oli leveyden tietäminen sitäkin tärkeämpää. Pohjantähden korkeuden mittaamiseksi oli kehitetty yksinkertainen laite, *kamal*, jonka muodosti nuoraan kiinnitetty suorakulmion muotoinen puulevy. Havaintoja piti nuoran toista päätä suussa, jännitti kädellään nuoraa suoraan eteenpäin sekä siirsi toisella kädellään puulevyä nuoraa pitkin sellaiseen asentoon, että levyn alareuna näytti koskettavan horisonttia ja yläreuna Pohjantähteä. Useimmiten oli tietyn sataman kohdalla mitattu korkeuskulma merkitty nuoraan solmulla, joten ilman mitään kulmayksikköiden käyttöä tiedettiin, minkä sataman kohdalla kulloinkin oltiin. Atlantin rannikon merenkulussa pystyttiin samoihin aikoihin parantamaan Pohjantähden avulla tapahtuvaa leveyden määrittystä. Huomattiin nimittäin, että tähti on puolen asteen tarkkuudella navan korkeudella silloin, kun Pienen Otavan nelikulmion äärimmäiset tähdet ( $\beta$  ja  $\gamma$  Ursae minoris) ovat pystysuorassa. Pientä Otavaa käytettiin myös kellona. Havaintojen oli vain tiedettävä, missä asennossa äsken mainitut kaksi tähteä olivat keskiyöllä eri vuodenaikoina. Tällöin hän voi tähtien asennosta laskea kuinka monta tuntia oli vielä keskiyöhön tai kuinka pitkä aika oli jo siitä kulunut. Tarkoitusta varten oli myös konstruoitu astelevyn tapainen laite, *nocturnal*, jota merimiehet tuskin kuitenkaan käyttivät.



Kuva 2. Merimiehen astrolabi



Kuva 3. Kvadrantti

### Asteikkokojeiden kehitys

Renessanssin aikana levisi muun kreikkalaisen sivistyksen tuntemuksen mukana Eurooppaan myös tieto vanhan ajan tähtitieteen saavutuksista, joita tosin jo muutamia vuosisatoja aikaisemmin arabialaiset olivat jossain määrin välittäneet. Keskiajan viimeisellä vuosisadalla alkoikin kiihkeä kehityskausi merellä tehtävän tähtitieteellisen paikanmäärityksen alalla kestäen 1700-luvun loppupuolelle saakka. Tänä aikana kehittyivät välineet ja menetelmät sellaiselle asteelle, että niiden avulla saavutettu tarkkuus periaatteessa tyydytti merenkulkijaa.

Edelläkävijämaana oli aluksi Portugal. Siellä 1460 kuollut prinssi HENRIK, liikanimeltään PURJEHTIJA, perusti linnaansa Sagresiin koulukunnan, johon kuuluivat ajan huomattavimmat kartantekijät, käytännön tähtitieteilijät ja merenkävijät. Lähimpänä tavoitteena oli purjehtia pitkin Afrikan länsirannikkoa etelään ja takaisin. On selvää, että tässäkin tarvittiin ennen kaikkea leveyden tietämistä. Se määritettiin Pohjantähden tai Auringon avulla käyttämällä korkeuden mittaamiseen »merimiehen astrolabia» (kuva 2), joka oli yksinkertaistettu laitos täydellisestä. Tähän aikaan ruvettiin käyttämään myös kvadranttia (kuva 3), jonka muodosti metallilevystä leikattu 90°:n laajuinen ympyrän sektori. Sen toisessa kyljessä oli kaksi reikää, joiden läpi tähdättiin tähteen. Samanaikaisesti luettiin luotilangan muodostama kulma tähtäysviivan kanssa kaarella olevasta asteikosta. Merenkulkijat merkitsivät tiettyjä satamia, jokien suita ja saaria vastaavia Pohjantähden korkeuksia kvadranttinsa asteikolle voidakseen seuraavalla matkallaan käyttää niitä hyväkseen tarvitsematta turvautua kirjoitettuihin muistiinpanoihin. He kun eivät loppujen lopuksi olleet aina teoreettisesti selvillä asteista eivätkä maantieteellisestä leveydestä.

Pohjoiseen päin purjehdittaessa olisi välttämättä täytynyt pystyä mittaamaan myös pituus, koska tuulisuhteiden vuoksi oli tällöin poikettava kauas länteen.

Tähän ei kuitenkaan ollut mitään keinoa. Kotiin löytämiseksi oli turvauduttava ns. merkintälaskuun. Jos lähtöpiste tunnetaan, saadaan laivan paikka esimerkiksi vuorokauden kuluttua mittaamalla laivan nopeus, laskemalla siitä kuljettu matka ja merkitsemällä tämä kartalle kompassin osoittamaan suuntaan alkupisteestä lähtien. Kompassin erantoa ei kuitenkaan tunnettu tarpeeksi hyvin, maapalloa luultiin pienemmäksi kuin se todellisuudessa on ja laivan nopeutta oli vaikea mitata, joten virheet olivat suuret. Varmunden vuoksi meneteltiin siten, että koettiin välttää länteen ajautumista niin paljon kuin tuulisuhteilta vain voitiin, ja kun päästiin Portugalin leveydelle, voitiin kääntyä suoraan itään, sillä koillispasaatin vyöhyke oli silloin jo ohitettu.



Kuva 4. Jaakopin sauva

Matkat Amerikkaan ja Intiaan 1490-luvulla toivat esille lukuisan joukon havaintoja kompassista. Kävi ilmi, että sen väärintäyttö muuttui mm. pituuden mukana. Kuviteltiin, että kompassi näytti oikein Azoreilla, joiden kautta oletettiin kulkevan »todellisen perusmeridiaanin», ja erannon arveltiin kasvavan lineaarisesti ja eri suuntiin etäännyttäessä tältä meridiaanilta länteen tai itään. Tässä tuntui tarjoutuvan keino pituuden määrittämiseksi. Loppuun asti ajateltuna tämä oletamus olisi tiennyt sitä, että Tyynellä valtamerellä 180°:n päässä Azoreilta kompassineula olisi kääntynyt kokonaan ympäri. Luonnollisesti pian todettiin, että näin ei ollut asian laita, ja niin tässä toiveessa petyttiin.

Korkeuden mittaauksessa alkoi 1500-luvulla Jaakopin sauva (kuva 4) syrjäyttää kvadrantin, joka oli painava ja hankala laite. Jaakopin sauvan muodosti puutanko, jota pitkin poikkitanko voi liikkua. Laitetta käytettäessä poikkitanko asetettiin kohtaan, jossa sen alapää oli horisonttia ja yläpää Aurinkoa tai tähteä kohti. Päätangossa oli asteikko, josta luettiin korkeus. Portugalilainen PEDRO NUNEZ keksi 1542 hänestä nimensä saaneen noonion tapaisen laitteen, jolla asteikon lukematarkkuutta voitiin ratkaisevasti parantaa ja siten pysyttää mittauskojeen koko kohtuullisena. NUNEZ tutki myös ansiokkaasti merikarttojen projektiota ja kompassin erantoa.

### Kohti matemaattista merenkulkua

Merenkulun painopiste siirtyi 1500-luvun lopulla Hollantiin ja Englantiin. Varsinkin englantilaiset ulottivat pian matkansa ympäri koko maapallon. Merenkulkijan taito ei enää vastannut niitä vaatimuksia, joita valtameripurjehdus asetti. Mainittakoon, että merimiehen kulmanmittausvälineen tarkkuus oli vain puolisen astetta, mikä leveydessä vastaa 30 meripeninkulmaa (55 km). Pituudessahan epävarmuus oli luonnollisesti vielä suurempi. Eräälläkin laivalla Brasilian rannikon läheisyydessä poikkesivat laivan eri upseerien tekemät paikanmääritykset toisis-

taan länsi-itäsuunnassa 100 mpk ja pohjois-eteläsuunnassa 40 mpk. Lähestyttäessä rannikkoa olivat näin suuret virheet erittäin vaarallisia. Tutkiessaan n. 1590 leveydenmääritysmenetelmiä huomasi englantilainen HARIOT, joka oli tehnyt matkan Virginiaan, että Pohjantähdestä saatu leveys poikkesi asteen verran Auringon avulla saadusta. Eron hän havaitsi johtuvan siitä, että Pohjantähteä koskeva Pienen Otavan asentosaanto oli väärä ja että se ei ollut samanlainen kaikilla leveyksillä. Hän laski sen vuoksi korjaustaulukon joka 10:nnelle leveysasteelle. HARIOT laski myöskin kuinka suuren korjauksen havaintopaikan korkeus meren pinnasta ja refraktio aiheuttavat havaittuun korkeuskulmaan. Hän tosin samalla huomasi, että näillä korjauksilla ei ollut käytännöllistä merkitystä havaintotarkkuuden ollessa sellainen kuin se vielä näihin aikoihin oli. Sen vuoksi hän koetti mm. parantaa Jaakopin sauvan mittauksia määrittämällä parallaksista johtuvan korjauksen.

Alankomaalainen MERCATOR laati 1569 kuuluisan maailmankarttansa, jossa hän käytti hänestä nimensä saanutta projektiota. Koska projektio kuvaa laivan kompassikurssin suorana viivana, on se ollut siitä lähtien merikarttojen melkein yksinomaisena projektiona. MERCATOR ei itse esittänyt projektionsa teoreettisia perusteita. Likimääräisen matemaattisen selityksen ja kartan konstruointiin tarvittavat taulut laati englantilainen WRIGHT n. 1590. Eksaktinen esitys saatiin vasta kun integraalilaskenta oli käytettävissä satakunta vuotta myöhemmin. Merikarttojen taso parani huomattavasti sen jälkeen, kun akateemikko PICARD oli ministeri COLBERTIN määräyksestä suorittanut astemittauksen Pariisissa ja Amiensin välillä ja saanut siten selville leveysasteen todellisen pituuden. Karttojen mittakaava saatiin nyt oikeaksi.

JOHN TOPP julkaisi 1601 Merimiehen kalenterin, *Seaman's Calendar*, jota voidaan pitää nykyaikaisen tähtitieteellisen vuosikirjan edeltäjänä. Se sisälsi Auringon ja Kuun efemeridit eli taulukot niiden asemista tietyin aikavälein, sekä tärkeimpien kiintotähtien koordinaatit. Paikanmäärityksessä voitiin siten käyttää muitakin taivaankappaleita kuin Aurinkoa ja Pohjantähteä. KEPLER julkaisi 1609 *Astronomia Novansa*, jossa hän esitti kaksi ensimmäistä lakiaan. Näiden perusteella hän laati 1627 taulukkoteoksen *Tabulae Rudolphinae*, joka sisälsi kierto- ja efemeridit.

Samalla vuosisadalla päästiin lopultakin jonkinlaiseen alkuun pituuden määrittämisessä. Periaate oli ollut selvillä jo antiikin ajoilta saakka. Jos tiedettäisiin paikalla, jonka pituus jostain perusmeridiaanista lähtien on määritettävä, paljonko kello on perusmeridiaanilla esimerkiksi silloin, kun Aurinko paikanmäärityspisteessä on korkeimmillaan, olisi pituus selvillä. Vesi- ja hiikkakellot eivät tähän tarkoitukseen kelvanneet. Taivaalla oli kuitenkin kello, jota eräissä tapauksissa voitiin käyttää, nimittäin Kuu. Sen pimennys näkyy samanaikaisesti kaikkialla, missä Kuu yleensä tällöin näkyy. Kuunpimennystä olikin käytetty hyväksi maissa olevien pisteiden pituuserojen määrittämiseen, mutta merenkulussa ei menetelmällä ollut merkitystä, koska pimennyksiä sattuu vain harvoin. Kuuta voidaan käyttää kellona myös toisella tavalla, havaitsemalla tähdenpeittoja, joita

näkyvät useammin. Näiden tehokas käyttö edellyttää taulukoita, joissa etukäteen ilmoitetaan tähdenpeiton tapahtumisaika perusmeridiaanin ajan mukaan. Voidaan mitata myös Kuun kulmaetäisyyksiä lähellä olevista tähdistä ja käyttää tuloksia ajan määrittämiseen. Tämäkin edellyttää tarkkoja tauluja tähtien asemasta ja Kuun liikkeestä. 1600-luvulla käytössä olleissa tauluissa oli kuitenkin jopa neljännesasteen virheitä, koska Kuun liikettä sen epäsäännöllisyyden vuoksi ei vielä tunnettu tarpeeksi hyvin. Juuri tarkkojen taulujen puute johti perustamaan tähtitornit 1672 Pariisiin ja 1675 Greenwichiin.

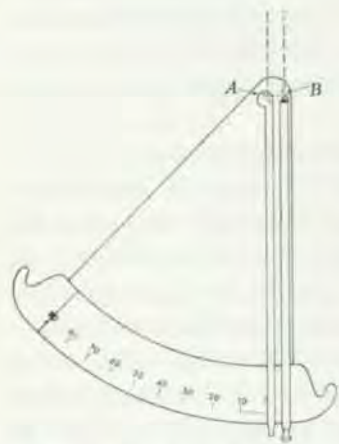
Pariisin tähtitornissa tutki sen ensimmäinen johtaja CASSINI erityisesti Jupiterin kuiten liikkeitä. Nämä kuut oli jo 1610 löytänyt GALILEI vasta valmistamallaan kaukoputkella. Hän oli laskenut taulukoita, joiden avulla etukäteen tiedettiin, milloin jokin kuista peittyi Jupiterin taakse tai tuli sen takaa näkyviin, joita ilmiöitä sattuu harva se yö. Tässä oli taasen »taivaallinen kello», joka sentään oli melko usein käytettävissä. Periaate oli hyvä, mutta käytännössä asia oli toinen. Merimies ei pystynyt heiluvassa laivassa hankalalla kaukoputkella seuraamaan kuiten liikkeitä, eikä menetelmä siis ratkaissut hänen aikapulmaansa. Kaikesta huolimatta sitä koetettiin edelleen kehittää. Kuista ruvettiin 1690 julkaisemaan vuosittain taulukkoa *Connaissance des Temps*issä. Kun NEWTON oli parikymmentä vuotta aikaisemmin keksinyt peilikaukoputkensa, joka oli linssikaukoputkea huomattavasti lyhyempi ja siis kätevämpi, luultiin taas päästyin ratkaisuun. Kokemus kuitenkin osoitti, että »taivaallisista kelloista» oli luovuttava ja ruvettava pohtimaan laivassa mukana kuljetettavan ajannäyttäjän kehittämistä. Tähän olivatkin jo edellytykset jossain määrin olemassa.

GALILEI tutki 1600-luvun alussa heiluriliikettä ja huomasi heilahdusajan riippuvan vain heilurin pituudesta. HUYGENS keksi 1657 kellon, joka kävi joko painon tai vieterin avulla ja jossa heiluri sääti käyntiä. Hän valmisti myös merikäyttöä varten vieterillä käyvän, puolen sekunnin heilurilla varustetun kellon. Aluksi sillä tehdyt kokeilut onnistuivat hyvin, mutta pian huomattiin, että myrskyssä laivan heiluminen aiheutti liian suuria häiriöitä. Lisäksi havaitsi 1671 ranskalainen RICHER Pariisissa oikein käyvän heilurikellon jätettävän Cayenessa. Syyksi arveltiin aivan oikein, että painovoiman kiihtyvyys on päiväntasaajalla pienempi kuin Euroopassa, mikä johtuu maan litistyneisyydestä.

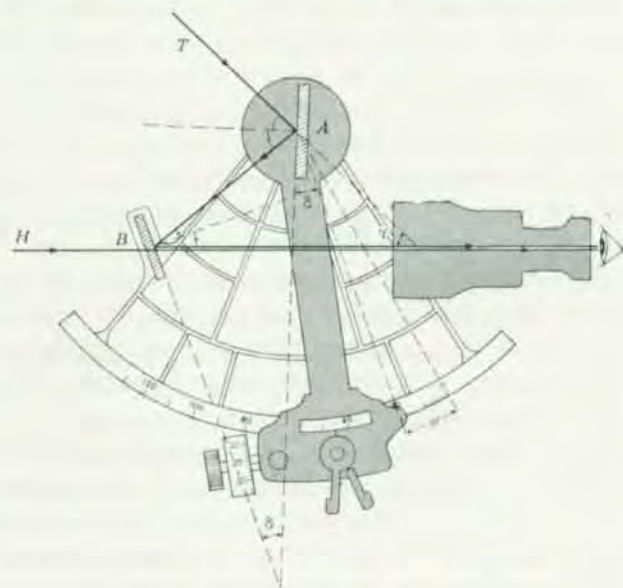
Eräs englantilainen laivasto-osasto kärsi 1707 Scilly-saarten luona tuhoisan haaksirikon, joka selvästi aiheutui siitä, että paikanmääritys osoitti laivojen olleen huomattavasti länempänä kuin ne todellisuudessa olivat. Tapaus antoi jälleen sysäyksen pituusmääritysmenetelmien kehittämiseksi. Parlamentti myönsi 1714 siihen aikaan huikkeen summan 20000 puntaa palkinnoksi tyydyttävästä ratkaisusta. Vaatimuksena oli, että matkalla Länsi-Intiaan oli perillä kyettävä tietämään Greenwichin keskiaika kahden aikaminuutin tarkkuudella, mikä vastaa 30' pituudessa. Useita ehdotuksia tehtiin, muunlaisiakin kuin kellon käyttöön perustuvia. Kelloseppä HARRISON oli vuoteen 1729 valmistanut niin tarkkoja heilurikelloja, että niiden käynti ei ollut sekuntia enempiä kuukaudessa. Hän sai 1736 valmiiksi ensimmäisen kronometrinsa, joka kävi vieterillä ja jonka käyntiä sääti

liipotin. Kun sitä kokeiltiin matkalla Lissaboniin, piti laivan kapteenin palattuaan Englannin kanaaliin parantaa merkintälaskun avulla saamaansa pituutta  $1,5^\circ$ :lla. Tällä kellolla ei HARRISON vielä saanut palkintoa. Hän valmisti 1761 taskukellotyyppiä olevan ajannäyttäjän ja vaati, että sitä oli kokeiltava matkalla Länsi-Intiaan. Näin tapahtuikin Jamaikan kuvernöörin lähtiessä marraskuussa samana vuonna virkapaikkaansa. Kronometri tarkistettiin Portsmouthissa, lukittiin ja sinetöitiin. Mukana seurasivat HARRISONIN poika ja tähtitieteilijä ROBINSON, jonka tehtävänä oli määrittää paikallisaika Jamaikalla. Kolmen viikon kuluttua lähestyttäessä Madeiraa kronometri osoitti pituuseron Portsmouthiin olevan  $15^\circ 19'$  länteen, kun perämiehet olivat omilla keinoillaan saaneet  $13^\circ 50'$ . Saavuttaessa seuraavana aamuna Madeiralta kronometri osoittautui olevan oikeassa. Jamaikalle päästiin tammikuussa 1762. Sen pääkaupungin Port Royalin pituus oli hiljattain määritetty käyttäen hyväksi Kuun pimennystä sekä Merkuriuksen kulkua Auringon yli. Kronometrin avulla saatu pituus poikkesi 5,1 aikasekuntia siitä, ja aikaa kulunut 61 vuorokautta. Samassa saatuessa olevilla laivoilla oli pituudessa viidenkin asteen virheitä, mikä vastaa 20 aikaminuuttia. Palattaessa kotiin kaikkiaan 147 päivän matkan jälkeen kronometrin virhe oli 1 min 24,5 sek. Se täytti parlamentin asettaman vaatimuksen, mutta HARRISONILLE maksettiin vain 7500 puntta. Toisessa kokeessa matkalla Barbadosiin 1764 kronometri jätätti 156 päivässä vain 15 sek. Vasta 1775 hänelle luovutettiin koko palkinto. Viivytyksen syyksi mainittiin mm., että hän ei ollut teoreettisesti esittänyt kronometrin rakennetta.

Rinnan kronometrin kehityksen kanssa tapahtui 1700-luvulla ratkaiseva parannus kulmanmittausvälineissä. Englantilainen HOOKE esitti Royal Societylle 1670 laitteen, jossa toisen tähtäyspisteen kuva peilien avulla siirrettiin suoraan



Kuva 5. NEWTONIN heijastusoktantti (0-asennossa)



Kuva 6. Sekstantin rakenne ja periaate

tähdätyn toisen kohteen kuvan viereen. Hän ei saanut keksintöään kehitetyksi teknillisesti tarpeeksi pitkälle. NEWTON suunnitteli siitä käyttökelpoisemman muunnoksen, heijastusoktantin (kuva 5), ja esitti sen vuorostaan Royal Societylle 1699. JOHN HADLEY kehitti 1731 tästäkin vielä parannetun laitoksen, jota myöhemmin on yleensä kutsuttu sekstantiksi, koska sen jakokehä on koko ympyrän kuudennes. Siinä on ympyrän sektorin muotoiseen runkoon kiinnitetty asteikko, kaukoputki ja lasilevy *B*, jonka toinen puolisko on peili ja toinen läpinäkyvä (kuva 6). Sektorin keskipisteen ympäri kääntyy varsi ja sen mukana peili *A*. Taivaankappaleesta *T* tuleva valonsäde heijastuu peileistä kuvan osoittamalla tavalla ja saapuu kaukoputken rinnakkain horisontista suoraan tulevan valonsäteen *H* kanssa. Peilien tasojen välinen kulma  $\delta$  on puolet korkeuskulmasta  $\gamma$  ja se voidaan lukea asteikolta. (Käytännössä asteikko on jaettu siten, että kulman  $\gamma$  suuruus saadaan siitä suoraan. Kuvan 6 esittämässä kojeessa on 0-piste teknillisistä syistä siirretty oikealle 20 »astetta».) Sekstantissa on oleellista se, että taivaankappaleen korkeutta mitattaessa sen ja horisontin kuvat saadaan rinnakkain ja niihin siis tähdättyä samanaikaisesti, mikä on mahdollista myös keinuvassa laivassa. Amiraliteetti määräsi laitteen heti kokeiltavaksi merellä. Kokeen suoritti HADLEY yhdessä tähtitieteilijä MASKELYNEN kanssa ja se osoitti sekstantilla saavutettavan tarkkuuden olevan 2':n luokkaa.

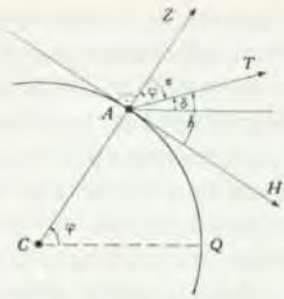
Kun paikanmääritysmenetelmät ja -välineet alkoivat saavuttaa vaaditun tason, tuli tärkeäksi kysymys perusmeridiaanista. Englantilaiset laskivat pituudet Greenwichistä, ranskalaiset Pariisista ja samoin melkein kaikki muut maat omasta perusmeridiaanistaan. Washingtonissa 1884 pidetyssä yleisessä merenkulkukonferenssissa vasta sovittiin, että merellä käytetään Greenwichin perusmeridiaania. Sen suhteen lasketaan almanakkojen efemeridit, piirretään meridiaanit merikartoille ja määritetään pituudet.

Lienee paikallaan esittää, miten laivalla meneteltiin kronometrin ja sekstantin kehityttyä lopulliseen muotoonsa. Paikan maantieteelliset koordinaatit, leveys ja pituus, määritettiin kumpikin erikseen. Lisäksi oli suoritettava atsimuutin määrittäminen, jotta tiedettäisiin kompassin väärintäyttö ja voitaisiin tarkistaa laivalle annettu kurssi.

Jo alussa esitettiin, että paikan leveys on sama kuin navan *P* korkeus. Kuvan 7 mukaan se on myös sama kuin zeniitin deklinaatio. Olkoon taivaankappaleen havaittu korkeus *h*, deklinaatio  $\delta$  ja zeniittiväli *z*. Saadaan, että  $z = 90^\circ - h$  ja  $\varphi = z + \delta = 90^\circ - h + \delta$ . Leveys  $\varphi$  voidaan siis määrittää, kun tunnetaan  $\delta$  ja havaitaan *h*. Havaintojen suoritustapoja on useita.

Yksinkertaisinta on suorittaa mittaus Auringosta siten, että havaitaan sen alareunan korkeus horisontista muutamia minuutteja vaille puolenpäivän ja seurataan Auringon nousua korkeimpaan pisteeseen saakka. Näin saatua korkeutta voidaan pitää meridiaanikorkeutena. Havaittuun arvoon lisätään havaintopaikan merenpinnasta luetun korkeuden, refraktion ja sekstantin kojevirheen aiheuttamat korjaukset sekä Auringon halkaisijan puolikas. Auringon deklinaatio haetaan almanakasta argumenttina Greenwichin keskiaika.





Kuva 7. Piste A leveyden määrittäminen taivaankappaleen T meridiaanikorkeudesta

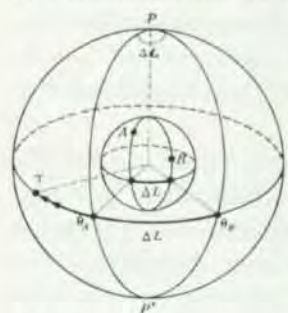
Jos pilvisyyden takia ei voida mitata korkeutta puolenpäivän aikaan, voidaan se tehdä muulloinkin. Mikäli se suoritetaan korkeintaan puoli tuntia ennen tai jälkeen keskipäivän, saadaan korjaus meridiaaniin taulukosta. Jos korkeus mitataan Auringon ollessa kauempana meridiaanista, muuttuu asia huomattavasti monimutkaisemmaksi, koska avuksi on nyt otettava tähtitieteellinen napakolmio eli merenkulkijan kolmio PTZ (kuva 8). Sen avulla ratkaistaan leveys  $\varphi$ , kun tunnetaan Auringon tuntikulma  $t$  ja deklinaatio  $\delta$  sekä on havaittu korkeus  $h$ .

Kun Pohjantähti ja horisontti näkyvät yhtä aikaa selvästi, on pohjoisella pallonpuoliskolla helppo määrittää leveys Pohjantähden korkeuden ja tuntikulman avulla, koska viimeksimainittua ei tarvitse tuntea kovin tarkasti, varsinkaan jos havainto on tehty lähellä tähden kulminointia. Leveydelle saadaan likimääräinen kaava

$$\varphi = h - p \cos t,$$

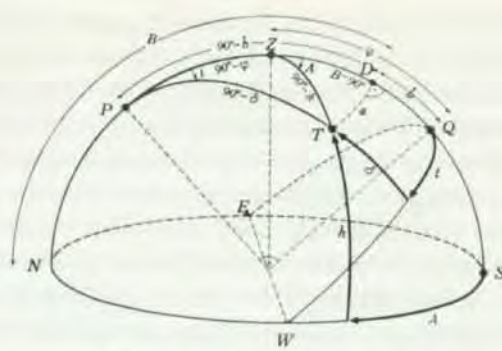
jossa  $p = 90^\circ - \delta$ , siis hyvin pieni kulma. Lausekkeen viimeinen termi sekä tarkkaan kaavaan kuuluva pieni korjaustermi ovat taulukoituina almanakassa.

Kahden paikan A ja B pituusero  $\Delta L$  on sama kuin niiden paikallisaikojen erotus  $\theta_B - \theta_A$  (kuva 9). Laivalla käy kronometri Greenwichin paikallisaikaa ja tähtitieteellisistä havainnoista voidaan laskea laivan paikallisaika. Ainoa laivalla mahdollinen havainto on jälleen jonkun taivaankappaleen korkeuden mittaaminen. Tuntikulma saadaan tällöin kaavasta, jossa tunnettuina esiintyvät  $\varphi$  ja  $\delta$ .



Kuva 9. Pituusero ja paikallisaikojen ero

Edellinen saadaan samana päivänä suoritetusta leveydenmäärittämisestä ja jälkimmäinen kronometriaajan mukaan almanakasta. Saatua tuntikulma muutetaan paikallisaikaksi, jota Greenwichin aikaan vertaamalla saadaan havaintopaikan pituus. Korkeuden mittaaminen pituudenmäärittäystä varten on edullisinta, kun taivaankappale on lähellä ensimmäistä vertikaalia eli itä-länsisuuntaista pystytasoa.



Kuva 8. Napakolmio PTZ

Kun sekä leveyden että pituuden määrittäminen edellä esitettyyn tapaan mittaamalla Auringon korkeuksia, on edellinen mittaaminen paras suorittaa meridiaanissa, siis puolenpäivän aikaan, ja jälkimmäinen taas mahdollisimman lähellä ensimmäistä vertikaalia, joko aamulla tai illalla. Jos leveys määritetään meridiaanikorkeudesta ei tuntikulmaa tarvitse tietää. Sen sijaan pituutta laskettaessa on tiedettävä paikan leveys, joka siis voidaan määrittää vain noin kuusi tuntia ennen tai jälkeen pituuden määrittämisen. Keskipäivällä saatua leveyttä voidaan kuitenkin merkintälaskun avulla helposti korjata vastaamaan aamu- tai iltahavaintohetkeä.

Jotta laivan kurssi voitaisiin luotettavasti pitää oikeana, on magneettisen kompassin väärintäyttö tarkistettava usein, koska se voi muuttua matkan aikana. Kompassin näyttämää suuntaa tiettyyn taivaankappaleeseen verrataan tämän tähtitieteellisesti määritettyyn suuntaan, atsimuuttiin. Menetelmiä on useita.

Kompassilla suunnitetaan Aurinkoa sen noustessa tai laskiessa. Auringon amplitudi eli sen kulmaetäisyys itäpisteestä sen noustessa ja länsipisteestä sen laskiessa saadaan kaavasta

$$\sin Amp = \sec \varphi \sin \delta$$

ja amplitudista helposti atsimuutti.

Kompassilla voidaan suuntia myös mitä hyvänsä melko alhaalla olevaa kirkasta tähteä, jonka atsimuutti lasketaan kaavasta, jossa tunnettuina suureina ovat  $\varphi$ ,  $\delta$  ja  $t$ . Ratkaisua varten on olemassa taulukoita ja nomogrammeja.

Pohjantähden atsimuutti  $A$ , joka aina on lähellä pohjoista, saadaan kaavasta

$$A = p \sin t \sec \varphi$$

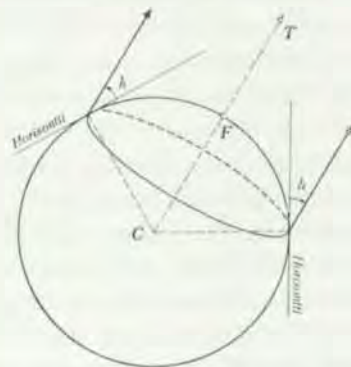
$A$ :n arvot ovat jälleen taulukoituina almanakassa.

## Sijaintiviivan keksiminen

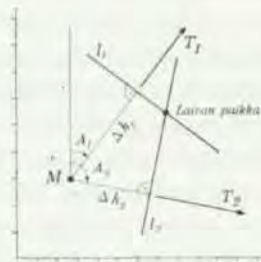
Amerikkalainen laivanpäällikkö, kapteeni THOMAS H. SUMNER kertoo laivapäiväkirjassaan seuraavaa: »Lähdettyämme Charlestonista S. C. (USA:n itärannikolla) 25. marraskuuta 1837 päämääränä Greenock (Skotlannissa, lähellä Glasgow'ta) kova länsituuli lupasi nopeata matkaa. Ohitettuamme Azorit tuuli kääntyi eteläiseksi, sää muuttui sumuiseksi . . . . ., saavuimme keskiyöllä 17. joulukuuta paksussa sumussa merkintälaskun mukaan 40 mpk:n päähän Tuskarin majakasta (Irlannin kaakkoiskärjessä) . . . Seuraavana päivänä klo 10 voitiin mitata Auringon korkeus, merkittiin kronometrin osoittama aika. Mutta koska oli kuljettu niin pitkä matka ilman paikanmäärittystä, oli selvää, että merkintälaskun mukainen leveys oli virheellinen. Käyttämällä tätä epävarmaa leveyttä laskettiin kronometrin mukaan pituus ja saatiin se 15' itäisemmäksi kuin merkintälasku näytti. Käyttämällä 10' pohjoisempaa leveyttä laskettiin samasta korkeushavainnosta toinen paikka, joka tuli 27 mpk itäkoilliseen edellisestä. Käytettiin vielä

kolmatta, 10' edelleen pohjoisempaa leveyttä ja saatiin paikka taasen 27 mpk itäkoilliseen edellisestä. Kun nämä paikat asetettiin kartalle, havaittiin että ne olivat suoralla, joka kulki Smallin majakan (Walesin lounaiskärjessä) kautta. Hetkessä minulle selvisi, että Auringolla oli näissä kolmessa pisteessä sekä Smallin majakalla ja laivalla havaintohetkellä sama korkeus. Tästä seurasi johtopäätös, että vaikka laivan absoluuttinen sijainti olikin epävarma, sen täytyi olla jossakin tällä suoralla. Laivan kurssiksi otettiin itäkoillinen ja vähemmän kuin tunnin päästä nähtiin Small suoraan edessä ja aivan lähellä. Merkintälaskun avulla saadun leveyden huomattiin olleen 8' liian etelässä. Jos sitä olisi pidetty oikeana, olisi laiva ollut vaarassa haaksirikkoutua.»

SUMNERin oivallus sisälsi seuraavaa. Maapallon pinnalla on niiden pisteiden ura (merimiehen kielellä sijoittaja), joissa tietty taivaankappale  $T$  näkyy havaintohetkellä samalla, mitatulla korkeudella  $h$ , eräs pikkuympyrä, jonka napa on taivaankappaleen projektio maapallolla, siis se piste  $F$ , jossa kappale on zeniitissä (kuva 10). Jos tämä ympyrä tai sen suoraksi viivaksi käsiteltävä pieni osa saadaan piirretyksi merikartalle, tiedetään laivan sijaitsevan havaintohetkellä tällä suoralla. SUMNERin mukaan menetellään paikanmäärityksessä siten, että merkintälaskun mukaan saadun likimääräisen leveyden molemmin puolin valitaan kaksi mielivaltaista leveyttä, esimerkiksi lähinnä olevat 10:llä jaolliset minuuttimäärät. Taivaankappaleen deklinaatio saadaan almanakasta kronometriaajan mukaan ja korkeus havaitaan. Vastaavat tuntikulmat voidaan laskea, kuten aikaisemmin on esitetty. Vertaamalla näitä Greenwichin tuntikulmiin, saadaan leveyksiä vastaavat pituudet. Saadut paikat merkitään kartalle ja niiden kautta vedetään suora, joka on edellä mainitun sijaintiympyrän sekantti. Koska tätä voidaan ilman käytännössä vaikuttavaa virhettä pitää itse ympyränkaaren osana, laiva on havaintohetkenä tällä suoralla. Taivaankappaleen atsimuutti on tätä vastaan kohtisuora suunta. Ympyrää korvaavaa suoraa kutsutaan Sumnerin viivaksi, sijaintiviivaksi tai vain sijoittajaksi. Kun samanaikaisesti tehdään korkeushavainto toisesta taivaankappaleesta, jonka atsimuutti poikkeaa suunnilleen 90° äskeisestä, saadaan toinen sijoittaja. Laiva on näiden suorien leikkauspisteessä.



Kuva 10. SUMNERin sijaintiympyrä



Kuva 11. Sijoittajien piirtäminen merikartalle

Ranskalainen meriupseeri MARC ST. HILAIRE esitti 1875 parannetun laskutavan. Merkintälaskulla saadun paikan  $M$  (kuva 11) leveys ja pituus otetaan lähtökohdaksi. Pituuden ja kronometriaajan avulla saadaan taivaankappaleen likimääräinen tuntikulma havaintohetkellä. Deklinaatio haetaan almanakasta. Nyt voidaan laskea tätä likimääräistä paikkaa vastaava korkeuskulma kaavasta

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$

joka johdetaan napakolmiosta  $TPZ$  (kuva 8). Atsimuutti saadaan sen jälkeen kaavasta

$$\sin A = \cos \delta \sin t \sec h$$

Havaitun ja lasketun korkeuden erotus olkoon  $\Delta h$ . Se on tavallisesti muutamien minuuttien suuruinen. Sijoittaja piirretään siten, että likimääräisen pisteen  $M$  kautta vedetään atsimuutin suuntainen suora (kuva 11), josta erotetaan  $M$ :stä lähtien niin monen meripeninkulman pituinen matka kuin minuuteissa ilmoitettu  $\Delta h$  osoittaa. Saatuun pisteeseen atsimuuttia vastaan piirretty kohtisuora  $l$  on havaittua korkeutta vastaava sijoittaja, tässä tapauksessa sijaintiympyrän tangentti. Jos  $\Delta h$  on +merkkinen, erotetaan väli havaittuun taivaankappaleeseen päin ja päinvastoin. Atsimuuttia ei tarvitse korjata, sillä se saadaan heti sillä tarkkuudella kuin kompassiakin voidaan lukea. Tämän laskutavan etu on siinä, että samalla saadaan laskennallisesti tehtyä myös atsimuutin määrittäminen ja että tarpeelliset laskut voidaan ainakin osittain suorittaa etukäteen, joten sijoittaja voidaan piirtää nopeasti havainnon jälkeen.

SUMNERin keksinnöllä on ollut tavattoman suuri merkitys sen vuoksi, että sen mukaisia paikanmäärityksiä voidaan suorittaa paljon useammin kuin vain meridiaanissa ja ensimmäisessä vertikaalissa tehtäviä korkeudenmittauksia. Nämähän menettävät lisäksi merkityksensä, jos toinen jää tekemättä pilvisyyden vuoksi. Aurinkoa havaitaan nykyisin useimmiten kaksi kertaa päivässä muutaman tunnin väliajoin, joten sen atsimuutti ennättää muuttua tarpeeksi. Aikaisempaa havaintoa vastaava sijoittaja siirretään itsensä suuntaisena niin paljon kuin merkintälasku osoittaa laivan edenneen havaintojen välillä kuluneena aikana. Tähtien korkeutta ei voida mitata muulloin kuin aamuin ja illoin ns. nauttisen hämärän vallitessa. Se on ainoa aika, jolloin sekä tähdet että horisontti näkyvät yhtä aikaa riittävän hyvin. Jos havainnot suoritetaan aamuhämärässä, voidaan sopivat tähdet etsiä kaikessa rauhassa pimeän aikana ja tunnistaa ne varmasti, mikä saattaa olla vaikeata iltahämärässä. Tarkistukseksi havaitaan useampia kuin kahta tähteä. Havaintoaikakin ehkä lyödään lukkoon etukäteen ja odotettavissa oleva korkeus asetetaan valmiiksi sekstanttiin. Havaintohetkellä todetaan vain lukeman muutos.

Merimiehen laskutyön vähentämiseksi on laadittu taulukoita, laskuviivaimia ym. Käyttäjälleen yksinkertainen taulukkoteos on U.S. Navy Hydrographic Officeen julkaisema *Tables of Computed Altitudes and Azimuths*, josta saadaan  $h$ :n ja  $A$ :n arvot argumentteina  $\varphi$ ,  $t$  ja  $\delta$ . Koska argumentteja on kolme, on teos

paisunut tavattoman laajaksi, yhdeksän 250-sivuista osaa käsittäväksi. Toisenlainen taulukkotyypä on brasilialaisen R. DE AQUINON *Altitude and Azimuth Tables*, joka on saatu mahtumaan yhteen kätevään kirjaan. Sen rakenne perustuu siihen, että ei haetakaan suoraan  $h$ :n ja  $A$ :n arvoja, vaan ensin eräitä apusuureita ja näiden avulla vasta halutut. Lordi KELVININ jo 1877 esittämän ajatuksen mukaan AQUINO jakaa napakolmion kahteen osaan vetämällä taivaankappaleesta  $T$  kohtisuoran meridiaanille pisteeseen  $D$  (kuva 8), jolloin saadaan kaksi suorakulmaista kolmiota. Olkoon  $TD = a$  ja  $DQ = b$  sekä  $ND = B$ . Kolmiosta  $TPD$  saadaan

$$\begin{aligned}\sin a &= \cos \delta \sin t \\ \cot b &= \cot \delta \cos t\end{aligned}$$

ja kolmiosta  $TZD$

$$\begin{aligned}\sin h &= \cos a \sin B \\ \cot A &= \cot a \cos B\end{aligned}$$

Ensimmäisen kaavaryhmän mukaisista taulukoista saadaan  $a$  ja  $b$  argumentteina  $\delta$  ja  $t$ . Kaavasta

$$B = \varphi + 90^\circ - b$$

saadaan  $B$ . Halutut suuret  $h$  ja  $A$  saadaan vuorostaan samoista tauluista, koska molemmat kaavaryhmät ovat täsmälleen samanmuotoiset.

Kun taulukot lisäksi ovat vain kaksiargumenttiset, vievät ne vähän tilaa. Varjopuolena on, että pelättyä laskutyötä on vähän enemmän kuin »suoria tauluja» käytettäessä.

Edellä usein mainitulla sanalla »almanakka» tarkoitetaan tässä merenkulkijan käyttämää tähtitieteellistä vuosikirjaa. Sellaisen edelläkävijöinä olivat mm. planeettataulut *Tabulae Alphonsinae* (julkaistu Espanjassa 1252) ja KEPLERIN *Tabulae Rudolphinae* (1627), samoin jo mainitut TOPPIN *Seaman's Calendar* (1601) ja ranskalainen *Connaissance des Temps* (1679). Nykyaikaisena almanakkana voidaan pitää vasta Englannin amiraliteetin vuodesta 1767 lähtien julkaisemaa *The Nautical Almanac*, joka nimestään huolimatta on nykyaikaan saakka ollut täydellinen tähtitieteellinen vuosikirja. Viime vuosina siitä on ilmestynyt merimiehille tarkoitettu lyhennetty laitos *The Abridged Nautical Almanac*. Amiraliteetin ja USA:n Naval Observatoryn kesken jo kauan vallinnut yhteistyö johti 1960 siihen, että ne yhdistivät vuosikirjansa, joka tällöin sai nimen *The Astronomical Ephemeris*. Merenkulkijalle tarkoitettu lyhennetty laitos peri mainehikkaan nimen *The Nautical Almanac*. Melkein kaikki tärkeimmät merenkulkumaat julkaisivat omaa almanakkaansa, joka kuitenkin on useimmiten vain stereotyyppijäljennös englantilais-amerikkalaisesta lisätynä omakielisillä selityksillä.

Vuosisatamme alussa poistui laivanpäällikön kronometrin käyntiä koskeva huoli. Heti kun radio oli keksitty, se otettiin palvelemaan merenkulkua paitsi tavallisena tiedotusvälineenä myös oikean ajan välittäjänä. Kansainvälisen yhteistyön puitteissa lähettävät eräät radioasemat aikamerkkejä niin usein, että merenkulkijalla on tilaisuus tarkistaa kronometrinsa vähintään kerran tunnissa. Näin ratkesi äkkiä ja melko yllättävällä tavalla merenkulun vaikein probleemi.

## Elektronikojeiden ja tekokuiden aikakausi

Toinen maailmansota toi tullessaan monien muiden rauhanomaista käyttöä palvelevien keksintöjen ohella elektroniset paikanmäärittämenetelmät. Eräissä niistä laivan paikka saadaan mittaamalla tarkoitusta varten rakennettujen kiinteiden radioasemien lähettämien radioimpulssien saapumisaikojen eroja. Toisissa verrataan tällaisten asemien pitkäaaltoisen lähetyksen aaltojen saapumisvaiheita toisiinsa. Menetelmien tarkkuus on aivan toista luokkaa kuin klassillisten tähtitieteellisten, meripeninkulman kymmenes- ja sadasosa siinä, missä tähtitieteellisesti saavutetaan 2–3 mpk:n tarkkuus. Niiden etuna on myös, että niitä voidaan käyttää aina riippumatta säästä ja vuorokaudenajasta. Ne eivät myöskään vaadi vaikeasti käytettäviä havaintokojeita eivätkä laskutöitä. Haittana on sekä vastaanotinlaitteiden että maissa olevien radioasemien kalleus. Toistaiseksi ei asemia myöskään ole vielä toiminnassa Intian valtamerellä eikä Atlantin ja Tyynen valtameren eteläosissa.

Ballistisissa ohjuksissa ja tekokuiden lähetyksilaitteissa käytettävää, hitausilmiöön perustuvaa menetelmää voidaan käyttää myös paikanmäärittäykseen merenkulussa. Kojeiston pääosan muodostavat hyrrälaitte ja siihen liittyvä tähtiaikaa käyvä kello, joiden avulla maan akselin ja lähtösataman meridiaanitasoon suunnat säilytetään muuttumattomina matkan aikana. Mittaamalla paikallisen luotiviivan muodostamat kulmat edellisten kanssa saadaan laivan paikka määritetyksi.

Pienten sivuhyppyjen jälkeen palaamme lopuksi jälleen tähtitieteen pariin. Nykyisenä tekokuiden aikana on luonnollisesti tullut esiin niiden käyttö merenkulun paikanmäärittäykseen. Esitän seuraavassa lyhyesti parin hiljattain ilmestyneen julkaisun<sup>1</sup> mukaan miten tässä on suunniteltu meneteltävän ja mitä kokeiluja jo on suoritettu. Täydelleen uutta tähtitieteen historiassa on, että havaittavat taivaankappaleet ainakin jossain määrin voidaan panna kulkemaan taivaalla siten kuin se on edullisinta niiden tarvitsijalle ja havaitsijalle, eikä ole pakko tyytyä luonnon järjestelyyn. Jotta tekokuuta voitaisiin käyttää paikanmäärittäykseen, on sen tarkka efemeridi tunnettava, erityisesti sen maan pinnalla olevan projektion maantieteelliset koordinaatit kunakin hetkenä. Muita huomioon otettavia näkökohtia ovat radan edullisin muoto, korkeus ja kaltevuus, kysymys siitä kuinka monta satelliittia täytyy olla yhtä aikaa »lennossa», jotta paikanmäärittäys voitaisiin aina suorittaa joka paikassa maapallolla ym.

Edullisin radan muoto on luonnollisesti ympyrä, koska efemeridin laskeminen on silloin yksinkertaisinta. Edullisimman korkeuden valitsemiseksi on tutkittava, kuinka laajalla vyöhykkeellä maan pinnalla tekokuu on havaittavissa sen liikkuessa eri korkeuksilla. »Näkyvyyteen» vaikuttavat korkeuden lisäksi radan kaltevuus, ratatason presessio, maan oma pyörimisliike ym. On huomattava, että kehityksen nykyisessä vaiheessa ei katsota tekokuun optista havaitsemista mah-

<sup>1</sup> PAUL D. THOMAS, *Use of Artificial Satellites for Navigation and Oceanographic Survey*, Technical Bulletin No 12 of Coast and Geodetic Survey, 1960 ja R. B. KERSCHNER and R. R. NEWTON, *Navigational Satellites*, The Transit System, The Journal of the Institute of Navigation, Vol. 15 No 2, 1962.

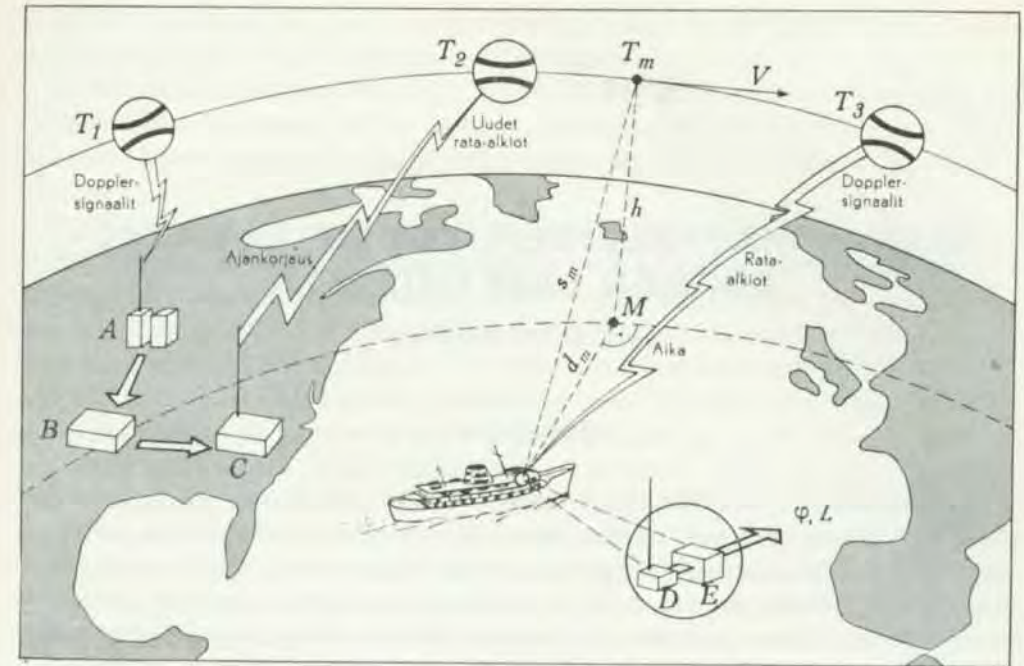
dolliseksi, vaan sitä on havaittava sen lähettämien jatkuvien radiosignaalien avulla. Voidaan laskea, että radan korkeuden ollessa alle 800 km ovat havaitsemisalueet liian epäedulliset. Yli 8000 km:n korkeuteen ei kannata pyrkiä, koska havaintoalueet eivät sen jälkeen enää sanottavasti suurene. Alhaisilla korkeuksilla aiheuttavat maan epäsymmetrinen vetovoimakenttä ja suuremmilla korkeuksilla Kuun vetovoima häiriöitä rataa ja vaikeuttavat efemeridien laskua. Paras korkeus tältä kannalta katsottuna on se, jossa molempien voimien yhteisvaikutus on pienimmillään.

On luonnollista, että tekokuuta on ensiksi suunniteltu käytettäväksi vanhaan klassilliseen tapaan mittaamalla sen korkeuskulmaa. Mittaus suoritetaan ns. radiosekstantilla, jonka muodostavat radioteleskooppi ja siihen liittyvä luotiviivan suuntaa osoittava heilurilaite. Kojeella havaitaan suunta, josta tekokuun radiosignaalit tulevat.

Mielenkiintoisempi on toinen, Dopplerin ilmiön hyväksikäyttöön perustuva menetelmä. Tämä ilmiö merkitsee sitä, että satelliitin lähettämän radiosignaalin taajuus havaitaan vastaanotettaessa todellista lähetystaajuutta suurempana tekokuun lähetessä kiinteätä havaintoasemaa ja pienempänä sen etääntyessä. Saatiin pian selville, että mittaamalla taajuuden muutos useamman kerran voitiin määrittää radan alkio yhdestä ainoasta ohikulusta. Tällöin heräsi luonnollisesti kysymys, eikö päinvastoin voitaisi tuntien rata-alkiot määrittää havaintopaikan asema, siis suorittaa esimerkiksi paikanmääritys merellä havaitsemalla tekokuun radiosignaaleja.

Kehitetyn menettelyn periaatetta esittää kuva 12.  $T_1 T_2 T_m T_3$  on tekokuun rata ja katkoviiva sen maan pinnalla oleva projektiio. Kun kuu kulkee rataosuuden  $T_1 T_m$ , sen välimatka laivaan lyhenee ja siellä havaitaan sen lähettämien radiosignaalin taajuuden olevan suuremman kuin se todellisuudessa on ja rataosuudella  $T_m T_3$  vastaavasti pienemmän. Laivan vastaanotin pystyy toteamaan, koska tekokuu on lähinnä, siis pisteessä, jolloin signaalien havaittu taajuus on sama kuin todellinen. Efemeridistä saadaan tekokuun maan pinnalla olevan projektion  $M$  koordinaatit. Lyhin etäisyys  $s_m$  voidaan laskea todellisen taajuuden, sen muutoksen, tekokuun korkeuden  $h$  ja tangentiaalisen nopeuden  $V$  avulla. Saadusta etäisyydestä ja kuun korkeudesta lasketaan matka  $d_m$  laivasta projektiopisteeseen  $M$ . Kun kuvaannollisesti sanoen projektion rata on sijoitettu kartalle ja sille merkitty piste  $M$ , saadaan laivan paikka piirtämällä tähän pisteeseen radalle kohtisuora ja erottamalla siitä  $M$ :stä lähtien  $d_m$ :n pituinen jana. Seuraavalla tekokuun kieroksella tarkistetaan paikka.

Toiminta tapahtuu käytännössä seuraavasti. Tekokuun ollessa paikassa  $T_1$  kiinteä tarkistusasema  $A$  vastaanottaa sen Doppler-signaalit ja lähettää ne laskentakeskukseen  $B$ , joka laskee radalle korjatut alkio, mikä on tehtävä sen vuoksi, että ne pysyvät vakioina vain n. puolen vuorokauden ajan. Nämä sekä ajan korjauksen lähetysasema  $C$  puolestaan lähettää tekokuuhun sen ollessa paikassa  $T_2$ . Kuu lähettää jatkuvasti Doppler-signaaleja, ja sen ollessa lähellä laivaa, esimerkiksi paikassa  $T_3$ , otetaan vastaan myös oikea aika ja tuoret rata-alkiot, jotka



Kuva 12. Paikanmääritys tekokuun avulla

laivan vastaanotin  $D$  toimittaa laskentalaitteeseen  $E$ . Tämä lopuksi laskee laivan paikan.

Vaikka asia periaatteessa näyttää melko yksinkertaiselta, sisältyy siihen vielä monia sekä avaruuslento- että radiotekniikkaan liittyviä vaikeuksia. Kokeilutaroituksessa on USA:ssa vuosina 1960–63 lähetetty kuusi ns. Transit-satelliittia<sup>1</sup>, joiden toiminta on järjestetty kerrotulla tavalla. Lopullisessa järjestelmässä on suunniteltu olevan neljä tekokuuta, joiden mahdollisuuksien mukaan ympyrän muotoiset radat kulkevat napojen kautta n. 1100 km:n korkeudella. Kun nämä olosuhteet vallitsevat, voidaan joka paikassa maapallolla tehdä paikanmääritys 110 min:n väliajoin. Yhden tekokuun iälle asettaa rajoituksen mm. lähettimien kesto aika. Kun sen arvioidaan olevan viisi vuotta, pysyy järjestelmä toimintakelpoisena, jos kerran vuodessa lähetetään uusi tekokuu vanhimman tilalle.

Amerikkalaiset tuntuvat olevan erittäin optimistisiä menetelmällä saavutettavan tarkkuuden ja sen vaatimien kustannusten suhteen. KERSCHNER ja NEWTON mainitsevat, että vastaanotin, jolla saavutetaan yhden meripeninkulman tarkkuus, on monimutkaisuudessaan väritelevisiön vastaanottimen vertainen, samoin hinnaltaan. Pitemmälle kehitetyillä laitteilla on heidän mukaansa mahdollisuus saavuttaa jopa 0,1 mpk:n tarkkuus. Voi kuitenkin vain aavistella, kuinka kalliiksi koko muu kojeisto, tekokuut, tarkistusasemat, laskentalaitteet ym. tulevat, joten asialla lienee merimiehelle toistaiseksi vain teoreettinen mielenkiintonsa.

<sup>1</sup> B. HJELM, *Tekokuuluettelo*, tämän teoksen sivulla 123.

## TAIVAANKAPPALEIDEN NOUSU- JA LASKU- AIKOJEN LASKEMISESTA

Kirj. V. R. ÖLANDER

### Johdanto

Almanakkojemme tähtitieteelliset tiedot ovat kahta eri laatua. Ns. konstellaatiot, jotka kuvaavat aurinkokunnan jäsenten asentoja taivaalla, niiden joukossa mm. Kuun vaiheet ja Auringon siirtymiset eläinradan merkistä toiseen, ovat yleisluonteisia, kaikkialla päteviä, sillä ne kohdistetaan määritelmän mukaan Maan keskipisteeseen. Toisen ryhmän muodostavat tiedot taivaankappalten nousuista ja laskuista sekä meridiaanin eli puolipäiväpiirin ohituksista. Ne on sidottu tiettyyn kohtaan Maan pinnalla ja pitävät tarkkaan paikkansa vain siinä. Almanakan horisontti on laskujen pohjaksi valitun pisteen kautta kulkeva vaakataso tai, mikä on pallo-tähtitieteen kannalta sama, tämän tason ja kuvitellun taivaanpallon leikkausviiva. Meridiaanin taas määrittelee taivaannavan kautta kulkeva pystytaso.

Suomen viralliset almanakat on laskettu toinen Helsingin, toinen Oulun horisontin mukaan. Näissä on, kuten tiedämme, ilmoitettu Auringolle joka toisen päivän nousu- ja laskuaika sekä meridiaanin ohitushetki (välipäivinä on käytettävä keskiarvoja) sekä Kuulle joka päivä puolipäiväpiirin ohitus ja nousun tai laskun ajoista se, joka sattuu Auringon alhaalla ollessa; valoisimpina kuukausina (touko-, kesä- ja heinäkuu) nousu- ja laskuajat on jätetty pois, koska Kuu silloin »voi näkyä ainoastaan heikosti». Sitä paitsi Valtiokalenterissa on — paitsi tiedot Auringon noususta ja laskusta joka päivä — myös neljän kirkkaimman kiertotähden (Venus, Mars, Jupiter ja Saturnus) nousut, laskut ja meridiaanipasaasit kahdesti kuukaudessa, mistä vastaavat ajat muina päivinä on arvioitava.

Kuusta ja kiertotähdistä ei muita tietoja liene olemassa. Auringon nousu- ja laskuajoista on eräitä tietoja muillekin paikkakunnille kuin Helsingille ja Oululle. Niinpä esim. hakuteoksissa saattaa olla yleisiä tietoja päivän pituudesta eri leveysasteilla. Lisäksi eräät päivälehdet julkaisevat tietoja Auringon noususta ja laskusta ilmestymispaikkakunnallaan, joskus muuallakin, jos kohta lehtien toimitukset eivät aina vastannekaan näiden tietojen paikkansapitävyydestä. Kiihittävä on almanakan julkaisu-oikeuksien vuokraajan, OY Weilin & Göösin aloite tällaisten tietojen ilmoittamisesta viidelle paikkakunnalle (Lahti, Jyväskylä,

Kuopio, Rovaniemi ja Inari) eräissä kalenterissaan (v:sta 1963 alkaen). Nämä tiedot on annettu 2 tai 3 päivälle kuukaudessa.

Kumminkin esiintyy tapauksia, jolloin Auringon ja joskus myös Kuun nousun tai laskun aika tarvitaan jollekin muulle paikkakunnalle kuin mille se on valmiiksi laskettu. Näitä tapauksia silmälläpitäen esitän seuraavassa eräitä näkökohtia ja ohjeita.

Tällöin käytettävät menetelmät ovat tietenkin riippuvaisia siitä tarkkuudesta, mihin laskuissa pyritään. Almanakkojamme varten suoritettut laskut edellyttävät yleensä, että ilmoitettu minuutti on oikea; tähän tarkkuuteen pääsemiseksi on mm. otettu huomioon ilman lämpötilan keskimääräiset vuotuiset ja vuorokautiset vaihtelut: mitä kylmempi ilma on, sitä ylempäs nousevat kaukaiset esineet, pakkasella taivaankappaleen nousu aikaistuu ja lasku hidastuu. On selvää, että tilapäisissä tapauksissa ja yleensä harrastajien laskuissa on tyydyttävä hiukan pienempään tarkkuuteen, ehkä Auringolle 2—3 minuutin ja Kuulle 4—5 minuutin epävarmuuteen. Kuitenkin esiintyy rajatapauksia, jolloin ei näitäkään rajoja voida hevin saavuttaa, nimittäin silloin kun taivaankappale nousee tai laskee hyvin loivasti, hipoen taivaanrantaan, kuten Aurinko sydänkesällä tai sydäntalvella napapiirin tienoilla sekä Kuu vastaavasti sen lähestyessä sirkumpolaarisuutta<sup>1</sup>. Tällaisissa tapauksissa ei yleensä voida ilmoittaa nousu- tai lasku- hetkeä tarkemmin kuin ehkä 10—15 min rajoissa. Tämä on pidettävä muistissa nousu- ja laskuaikoja laskettaessa, se sisältyy asian luonteeseen niinkin pohjoisilla leveysasteilla kuin meillä ja koskee yhtä hyvin tarkimpia kuin vähemmän tarkkoja laskumenetelmiä.

Toinen periaatteellista laatua oleva kysymys lienee myös syytä selvittää heti alkuun. Se koskee itse nousun ja laskun määritelmää. Tavallisin lienee, ainakin useissa maissa, se katsantokanta, jonka mukaan Auringon tai Kuun nousu on se hetki, jolloin taivaankappaleen yläreuna on horisontissa, ja vastaavasti lasku vasta kun yläreuna häviää näkymästä. Meidän almanakamme — samoin kuin ainakin myös Ruotsin — määrittelee näiden taivaankappalten nousut ja laskut niiden keskipisteiden mukaan, ja tällä kannalla aion pysyä tässäkin esityksessä. Planeettoja ja kiintotähtiä tämä määritelmän ero ei koske.

### Suorat laskukaavat

Täydellisyyden vuoksi esitän tässä eräitä laskukaavoja taivaankappalten nousu- ja laskuaikojen sekä horisonttipisteiden ilmansuunnan (atsimuutin) laske- mista varten. Prof. HIRVONEN on lyhyesti käsitellyt samaa asiaa *Tähtitieteen har-*

<sup>1</sup> Kuun ratatason kiertoliikkeen takia sen deklinaation ääriarvot vaihtelevat rajoissa 18°13' ja 28°41'. Nykyään (1962) sen sirkumpolaarisuusraja on lähellä napapiiriä, mutta lähimpien 3 vuoden aikana se siirtyy etelämmäs, aina leveydelle 60°57' saakka, kääntyäkseen sen jälkeen taas pohjoisemaksi. Tämän vaihtelun jakso on 18.6 vuotta.

*rastajan kirjassa* (s. 89) mutta hänen esityksensä on liiankin suppea ja tästä syystä epätäydellinen ja jossain määrin harhaanjohtava.

*Nousu- ja laskuajat.* Nämä lasketaan yleisesti horisonttipisteen tuntikulman avulla. Täydellinen kaava on

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta + \sec \varphi \sec \delta \sin h \quad (1)$$

Tässä  $t$  on haettu tuntikulma, joka tässä tapauksessa on likimäärin puolet ns. päiväkaaresta (taivaankappaleen päiväkaari on aika sen noususta laskuun ja vastaavasti yökaari aika laskusta nousuun),  $t$  on lausuttava aikamitassa ( $15^\circ = 1^t$ ,  $1^\circ = 4^m$ ). Edelleen  $\varphi$  on havaintopaikan leveys ja  $\delta$  taivaankappaleen deklinaatio;  $h$  on korkeuskulma, joka koostuu refraktion ( $r$ ) ja parallaksin ( $p$ ) yhteisvaikutuksesta:

$$h = p - r.$$

Horisonttirefraktion arvona näkee kirjallisuudessa eri lukuja, useimmiten väliltä  $34' \dots 36'$ . Se ei ole mikään vakio, vaan on riippuvainen mm. ilman lämpötilasta. Niinpä Suomen virallisen almanakan laskuissa käytetään arvoa:

$$r = 35'.0 - 0'.228 (T - 7^\circ.5)$$

missä  $T$  on ilman lämpötila ( $^\circ\text{C}$ ). Temperatuurivälissä  $-10^\circ \dots +15^\circ$  refraktio vaihtelee n.  $33'$  ja  $39'$  välillä. Tämän artikkelin taulukoissa ja esimerkeissä käytän kiinteätä arvoa  $35'$ , vastaten siis lämpötilaa  $+7.5^\circ\text{C}$ .

Horisonttiparallaksi on vain Kuulle huomattava. Auringon parallaksi on  $9''$  eli  $0'.15$  ja se voidaan refraktion rinnalla jättää huomiotta, samoin kiertotähtien parallaksi, joka aina on pienempi kuin  $0'.5$ . Sen sijaan Kuun parallaksi on suuri, vaihdellen rajoissa  $53' \dots 61'$ , keskiarvo on  $57'$ , jota tulen käyttämään seuraavassa.

Edellisen perusteella saadaan keskimäärin:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Auringolle ja kiertotähdille: } h = -35' = -0'.58 = -2^m.3; \sin h = -0.0102 \\ \text{Kuulle: } h = +57' - 35' = +22' = +0'.37 = +1^m.5; \sin h = +0.0064 \end{array} \right\} (2)$$

Kun  $h$  on pieni kulma, voidaan se laskuissa aluksi jättää huomioimatta. Tällöin lasketaan  $t$ :lle likiarvo  $t_0$  kaavasta:

$$\cos t_0 = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad (3)$$

ja sen jälkeen korjaus  $\Delta t_0$  kaavasta:

$$\Delta t_0 = -\frac{\sec \varphi}{\sin a_0} \cdot h = -\frac{\sec \varphi}{\cos \delta \sin t_0} \cdot h \quad (4)$$

missä  $h$ :lle tällöin käytetään kaavojen (2) viimeistä, aikaminuuteissa lausuttua arvoa. Kaavan ensimmäinen muoto edellyttää, että atsimuutin likiarvo  $a_0$  on tiedossa; ellei atsimuuttia muusta syystä lasketa, on kaavan jälkimmäinen muoto edullisempi. Kaavassa (4)  $h$ :n kerroin on aina  $> 2$  ja  $\Delta t_0$  siis aina vähintään  $4^{1/2}$  min (Aurinko) tai 3 min (Kuu). Se on siis yleensä huomioitava.

Melkein samaan tulokseen kuin tällä korjaustermillä päästään myös suoraan (3):n kaltaisella kaavalla, jos  $\delta$ :n arvoa hiukan muutetaan. Jotta kaava:

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} (\delta + d) \quad (5)$$

antaisi saman arvon  $t_0 + \Delta t_0$  kuin (3) ja (4) yhdessä, on  $d$ :n arvona käytettävä:

$$d = -\frac{\cos \delta}{\sin \varphi} \cdot h \quad (6)$$

Kun tässä esiintyvä  $h$ :n kerroin Suomen leveyksillä ja kysymykseen tulevilla  $\delta$ :n arvoilla vaihtelee vain rajoissa  $1.00 \dots 1.15$ , voidaan se useimmiten korvata kiinteällä arvolla, esim.  $1.06$ :lla, jolloin saadaan:

$$\begin{array}{l} \text{Auringolle: } \delta + d = \delta + 37' \\ \text{Kuulle: } \delta + d = \delta - 23' \end{array}$$

Virhe, joka tällöin syntyy käytettäessä kaavaa (5) suoraan  $t$ :n laskemiseksi, on korkeintaan  $10\%$  termistä (4), usein paljon pienempi.

Edellä esitetyissä kaavoissa on deklinaation arvona käytettävä nousu- tai laskuhetken arvoa. Tämä ei tuota vaikeuksia kiintotähtien ja hitaasti liikkuvien kiertotähtien kohdalla — kiintotähdet muuten nousevat ja laskevat määrättyllä leveydellä aina samalla tähtiajan hetkellä. Auringolle ja Kuulle samoin kuin Marsille, Venukselle ja Merkuriukselle on  $\delta$ :n interpoloimiseksi tähtitieteellisten vuosikirjojen efemerideistä laskettavan ajankohdan oltava jo likimäärin tiedossa. Etenkin kun on Kuusta kysymys, ei uusintalaskua useinkaan voida välttää — voihan Kuun deklinaatio muuttua lähes  $7^\circ$  vuorokaudessa eli  $17'$  tunnissa.<sup>1</sup>

Taivaankappaleen rektaskensio ( $\alpha$ ) ei esiinny suoranaisesti edellä olevissa kaavoissa, mutta kylläkin epäsuorasti, nimittäin siinä meridiaanin ohikulkuaajassa, johon nousun ja laskun tuntikulmat on liitettävä. Tällöin on huomattava, ettei ole kysymys todellisesta ohikulkuaajasta, vaan ohikulusta sellaisena kuin se olisi, jos rektaskensio silloin olisi sama kuin nousun tai laskun hetkellä. Toisin sanoen todellinen ohikulkuaika on korjattava sillä määrällä  $\Delta \alpha$ , millä rektaskensio muuttuu puolen päiväkaaren aikana. Korjauksen merkki on sellainen, että jos  $\alpha$  kasvaa, siis jos taivaankappaleella on etenevä liike, on  $t$ :n arvoa suurennettava, ja päinvastoin, jos taivaankappaleen liike on taantuva ja  $\alpha$  pienenevä, on myös tuntikulmaa pienennettävä. Taantuva liike esiintyy tietenkin vain planeetoilla (ulko-planeetoilla opposition ja sisäplaneetoilla alakonjunktin aikana), muttei koskaan Auringolla eikä Kuulla. Auringon rektaskensiohan suurenee aina  $1^\circ$  eli 4 min vuorokaudessa (asteen alkuperäinen määritelmä!) ja Auringon tuntikulman korjaus

<sup>1</sup> Lukijaa kiinnostanee tieto, että elektronisia laskukoneita käytettäessä interpolointi suoritetaan tavallaan nurinpäin. Paikan latitudia ja longitudia sekä koneeseen talletettuja Kuun koordinaatteja käyttäen lasketaan joka täydelle tunnille Kuun korkeus (ks. HIRVONEN: I. c., s. 85) ja vähennetään siitä parallaksin ja refraktion vaikutus. Ns. taaksepäin-interpolointi määrittää hetki, jolloin ero on nolla. Laskuohjelma voidaan laatia sellaiseksi, että kone itse pystyy karsimaan pois täysin mielettömät tunnint ja rajoittuu suorittamaan varsinaiset laskut esim. kolmelle peräkkäiselle tunnille jokaisen lasku- ja nousuhetken ympärillä.

on siis aina  $+1$  min 6 tuntia kohti. Sen sijaan Kuulle, jonka sideerinen kiertoaika on vain  $27\frac{1}{3}$  vrk ja jonka rektaskensio siis muuttuu keskimäärin 53 min ja ääritapauksissa yli tunnin vuorokaudessa, tämä korjaus voi hyvinkin nousta 30 minuuttiin; jos käytämme keskimääräistä korjausta  $+2^m2$  jokaista  $t$ :n tuntia kohti, pysymme yleensä 5 minuutin virherajoissa.

Edelleen on huomattava, että kaikki kaavoista lasketut ja rektaskension muutoksilla korjatut tuntikulmat ovat *tähtiäikää*. Ne voidaan sellaisinaan liittää tähtiäajassa lausuttuun meridiaanipasaasiin, jonka jälkeen nousu- ja laskuajat muutetaan tavalliseen tapaan aurinkoajaksi. Jos ohikulkuaja on valmiiksi laskettuna keskiaikana, on sen sijaan tuntikulma muunnettava, ennen kuin se liitetään siihen. Tämä tuntikulman muunnos on tietenkin kaikille taivaankappaleille sama, nimittäin 4 min/vrk eli 1 min 6 tuntia kohti; se on aina negatiivinen, tuntikulman lasketusta arvosta vähennettävä.

Tässä vaiheessa tarkkaavainen lukija toteaa, että kaikkein tavallisimmassa tapauksessa, nimittäin kun on kysymys Auringosta, molemmat edellä selostetut korjaukset ovat keskenään yhtä suuret mutta vastaismerkkiset, joten ne aina kumoutuvat. Tämä ei ole mikään sattuma, vaan se johtuu suoraan tähtiajan ja aurinkoajan määritelmistä: niiden erohan on juuri Auringon rektaskension muutos.<sup>1</sup>

Näin ollen voidaan Auringolle käyttää kaavojen antamia tuntikulmia sellaisinaan yhdessä todellisen meridiaanipasaasin kanssa. Mutta toisia taivaankappaleita tämä huomio ei koske. Kuitenkin voidaan myös kiertotähtien kohdalla korjaukset usein jättää tekemättä; näin on etenkin laita liikkeen ollessa etenevä, koska tällöin korjaukset ovat vastaismerkkiset ja kumpikin erikseen vain  $1-2$  minuutin kertaluokkaa.

Mutta korjausten huomioon ottaminenkaan ei yleensä ole vaikeata. Ne ovat keskenään siinä mielessä yhdenlaatuiset, että kumpikin on itse tuntikulmaan suoraan verrannollinen, ja ne voidaan tästä syystä helposti yhdistää. Molempien efektien — rektaskension muutoksen ja tähtiajan ja aurinkoajan eron — yhteisvaikutus ilmenee meridiaanipasaasin ajan muutoksena päivästä toiseen. Jos tämä muutos merkitään  $\Delta M$ , positiivisena jos seuraavan päivän ohikulkuaja on myöhäisempi, on tuntikulman korjaus:

$$\Delta t = \frac{\Delta M}{24} \cdot t \quad (7)$$

Tuntikulma  $t$  on tällöin lausuttava tunteina (tarvittaessa yksi desimaali);  $\Delta t$  ja  $\Delta M$  ovat keskenään samoja yksikköjä, mieluummin minutteja.

*Esimerkki 1.* Huhtik. 7 p. 1964 Merkurius on suurimmassa itäisessä elongaatioissa. Valtiokalenterin kalendaarion mukaan se laskee Helsingissä enemmän kuin 2 t. auringonlaskun jälkeen. Mikä on planeetan laskuaja Vaasassa?

<sup>1</sup> Tarkkaan sanoen tämä pitää paikkansa vain todelliseen aurinkoajakaan nähden. Tavalliseen keskiaurinkoajakaan nähden esiintyy eroja, jotka Suomen leveydellä voivat nousta noin 6 sekuntiin (eteläisen napapiirin tienoilla ero voi olla 15 sek).

Vaasan koordinaatit: pituus ( $\lambda$ ) =  $13^m$  länteen H:gistä, leveys ( $\varphi$ ) =  $63^{\circ}6'$  ( $\operatorname{tg} \varphi = 1.971$ ,  $\sec \varphi = 2.210$ ).

Aurinko laskee H:gissä klo 19.17. Merkuriuksen likimääräinen laskuaja Vaasassa on siis  $19^h17^m + 2^h + 13^m = 21^h30^m$  eli  $19^h30^m$  Greenwichin aikaa. Tälle hetkelle saamme vuosikirjoista (esim. Astronomical Ephemeris):  $a = 2^h15^m$ ,  $\delta = +16^{\circ}27'$ . Tuntikulman lasku (kaavat (3) ja (4)):  $t = 8^h22^m + 7^m = 8^h29^m$ .

Planeetan ollessa suurimmassa elongaatioissa sen rektaskension muutos on sama kuin Auringon ja laskettu tuntikulma voidaan siis ilman korjauksia liittää meridiaanin ohikulun aikaan. Tämä on Auringolle H:gissä 12.22 ja Vaasassa 12.35; Merkuriukselle se on rektaskensio-eron verran myöhäisempi. Auringon  $a$  on  $1^h6^m$  ja Merkuriuksen meridiaanipasaasi Vaasassa siis  $12^h35^m + (2^h15^m - 1^h6^m) = 13^h44^m$ . Haettu laskuaja on  $13^h44^m + 8^h29^m = 22^h13^m$ .

Jos tyydyimme Auringon ja planeetan laskuajojen eroon, voidaan lasku tehdä lyhyemmin seuraavasti:

	Aurinko	Merkurius	Ero
Rektaskensio ( $a$ )	$1^h6^m$	$2^h15^m$	$1^h9^m$
Deklinaatio ( $\delta$ )	$+7^{\circ}4'$	$+16^{\circ}27'$	—
Puoli päiväkaari ( $t_0$ )	$6^h57^m$	$8^h22^m$	$1^h25^m$
Laskuajojen ero			$2^h34^m$

Mitään kaavan (4) mukaista korjausta ei tarvita, koska se on melkein sama Auringolle ja planeetalle. Laskujen tarkistukseksi johdamme Auringon likimääräisen laskuajan Kuopiosta käsin, jonka leveys on melkein sama kuin Vaasan (pituusero on  $24^m$ ). «Ajastajasta» saamme interpoloimalla huhtik. 1 ja 16 p:n välillä laskuajan  $19^h13^m + 24^m = 19^h37^m$ ; kun tähän lisätään aikaero  $2^h34^m$ , saadaan planeetan laskuajaksi  $22^h11^m$ . Tarkkuus on tyydyttävä.

*Esimerkki 2.* Toisena esimerkkinä käsittelemme tapausta, joka tuo selvästi esille eri laskuvaiheiden vaikutukset. Laskemme Kuun nousun ja laskun ajat Rovaniemellä syysk. 2 p. 1964.

Rovaniemen koordinaatit ovat:

Leveys:  $\varphi = 66^{\circ}30'15''$ ,  $\operatorname{tg} \varphi = 2.3003$ ,  $\sec \varphi = 2.5082$ ,  $\sin \varphi = 0.9171$ .

Pituus:  $\lambda = 1^h42^m57^s$ , ero Oulusta  $+1^m4^s$  (Roi idempänä).

Saadaksemme tarvitsemamme Kuun deklinaation meidän on tunnettava likimäärin nousu- ja laskuhetket. Käytämme tähän Oulun aikoja. Almanakan mukaan on Oulussa:

Meridiaaniohitus IX.2:	klo 8.52
Kuun nousu IX.2:	23.13
Meridiaaniohitus IX.3:	9.53

Kahdesta viimeksimainitusta ajasta saamme vähentämällä Kuun tuntikulman sen noustessa  $t = (9^h53^m + 24^h) - 23^h13^m = 10^h40^m$ . Jos oletamme laskun tuntikulman likimäärin samaksi, saamme laskun ajaksi  $8^h52^m + 10^h40^m = 19^h32^m$ . Yleisajassa lausutut aikamäärät ovat  $2^h$  aikaisemmat. Tähtitieteellisistä vuosikirjoista saamme:

$$\begin{array}{llll} \text{IX.2}^d & 17^h32^m; & \delta = +23^{\circ}19', & \operatorname{tg} \delta = 0.4310, \quad \cos \delta = 0.918. \\ & 21 \text{ } 13; & +23 \text{ } 6, & 0.4265, \quad 0.920. \end{array}$$

Kaavat (3) ja (4) antavat seuraavat  $t_0$ :n arvot ja korjaukset  $\Delta t_0$ :

$$\begin{array}{llll} \text{Lasku: } \cos t_0 = 0.9914, & t_0 = 11^h30^m, & \sin t_0 = 0.131, & \Delta t_0 = -26^m, \quad t = 11^h4^m. \\ \text{Nousu: } & 0.9811, & 11 \text{ } 15, & 0.193, \quad -21^m, \quad 10^h54^m. \end{array}$$

Laskettuihin  $t$ :n arvoihin tulee vielä lisätä kaavan (7) mukainen korjaus. Meridiaanijan muutos päivästä toiseen on  $\Delta M = 9^h53^m - 8^h52^m = 61^m$  ja siis

$$\Delta t = +\frac{1}{24} 61 = +2^m, \quad t_1 = 11^h32^m, \quad t_2 = 11^h22^m$$

Meridiaanipasaasit tapahtuvat Rovaniemellä 1<sup>m</sup> aikaisemmin kuin Oulussa:

$$\begin{array}{ll} \text{Merid.-ohitus IX.2: } 8^{\text{h}}51^{\text{m}}, t_1 = 11^{\text{h}}32^{\text{m}}, & \text{Lasku IX.2: } 20^{\text{h}}23^{\text{m}}. \\ \text{IX.3: } 9^{\text{h}}52^{\text{m}}, t_2 = 11^{\text{h}}22^{\text{m}}, & \text{Nousu IX.2: } 22^{\text{h}}30^{\text{m}}. \end{array}$$

Tulos eroaa oletetuista ajoista vajaalla tunnilla. Kun  $\delta$  tässä tapauksessa muuttuu hitaasti, voisimme tyytyä näihin arvoihin. Nähdäksemme kuinka paljon ne ovat viassa, toistamme laskun.

Kun kaavan (4) antama korjaus on suhteellisen suuri ja sen takia epätarkka, on sen käyttöä nyt vältettävä. Voisimme tietenkin käyttää tarkkaa kaavaa (1), mutta saamme tässä tapauksessa yhtä hyvän tuloksen kaavasta (5). Nyt on

$$\cos \delta = 0.919, \cos \delta: \sin \varphi = 1.002, d = -h = -22'$$

Lasku on seuraava:

Aika (Grw)	$\delta$	$\delta + d$	$\text{tg}(\delta + d)$	$\cos t$	$t$	$t + \Delta t$
Lasku: 18 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	23°17'	22°55'	0.4228	-0.9726	11 <sup>h</sup> 6 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup>
Nousu: 20 30	23 8	22 46	0.4197	-0.9654	10 59	11 27

Viimeisessä palstassa käytetty  $\Delta t = 28^{\text{m}}$  on sama kuin ennen.

Lopulliset ajat ovat siis:

Rovaniemi 1964. IX.2: Kuu laskee klo 20.25  
\* nousee \* 22.25

Jos haluaisimme näitä aikoja vielä tarkentaa, olisi meidän jo otettava huomioon Kuun parallaksin mahdollinen poikkeama käyttämästämme normaaliarvosta 57' samoinkuin tarkempi refraktion arvo.

*Sirkumpolaarisuus ja sydänyön aurinko.* Jos  $\sin t$  on lähellä nollaa, on kaava (4) epätarkka, sama koskee muuten myös kaavoja (1) ja (5). Tällöin on kysymyksessä edellä selostettu erikoistapaus, jolloin taivaankappale on lähellä sirkumpolaarisuutta. Tämän voidaan katsoa olevan laita, jos laskettu  $t$  on rajoissa:

$$0^\circ < t < 1^\circ \text{ tai } 11^\circ < t < 12^\circ$$

eli, mikä on sama, kun  $\sin t_0 < 0.25$  tai  $|\cos t_0| > 0.97$ . Edellisessä tapauksessa taivaankappaleen päiväkaari on lyhyt, se nousee etelässä vain hiukan ( $< 1^\circ$ ) taivaanrannan yläpuolelle ja  $\delta$  on negatiivinen. Jälkimmäisessä tapauksessa päiväkaari on pitkä ja vastaava ilmiö esiintyy pohjoisessa,  $\delta$  on tällöin positiivinen. Näissä tapauksissa lasketaan:

$$\begin{array}{l} \text{jos } \delta < 0^\circ: x = 90^\circ - \varphi + \delta - h \\ \text{jos } \delta > 0^\circ: x = 90^\circ - \varphi - \delta + h \end{array} \quad (8)$$

ja

$$\sin^2 \frac{1}{2} t = \frac{1}{2} (1 - |\cos t|) = \frac{\sin x}{\sin 2\varphi} + \dots \quad (9)$$

tai yksinkertaisemmin, mutta silti riittävän tarkasti:

$$t = 5.53 \frac{\sqrt{\text{tg } \varphi} \sqrt{x}}{\sin \varphi} = 7.82 \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{\sin 2\varphi}} \quad (10)$$

missä numerokerroin on valittu siten, että  $t$  saadaan aikaminuutteina, kun  $x$  on kaariminuutteja. Tämän kaavan suhteen on huomattava, että se  $\delta$ :n ollessa positiivinen antaa yökaaren puoliskon; laskettu tuntikulma on tällöin tietenkin liitettävä alakulminaatiohetkeen (pohjoiseen meridiaanipasaasiin), mikä saadaan kahden peräkkäisen yläkulminaation keskiarvona.

Jotta kaava (10) antaisi reaalisen  $t$ :n arvon, on tietenkin  $x$ :n oltava positiivinen; yllämainituissa tuntikulman rajoissa sen yläraja on noin 50'. Jos kaavoista (8) saadaan  $x$ :lle negatiivinen arvo, se merkitsee, ettei nousua tai laskua tapahdu lainkaan, vaan taivaankappale pysyy taivaanrannan alapuolella (etelässä) tai yläpuolella (pohjoisessa).

*Esimerkki 3.* Sovellutamme kaavaa (10) yllä esimerkissä 2 laskemiimme Kuun laskun ja nousun aikoihin Rovaniemellä 1964. IX.2. Rovaniemellä on

$$\varphi = 66^\circ 30', 2\varphi = 133^\circ, \sin 2\varphi = 0.731, \sqrt{\sin 2\varphi} = 0.855.$$

Taulukoista ottamillamme deklinaation arvoilla saamme seuraavan laskun:

$$\begin{array}{ll} \text{Lasku: } \delta = +23^\circ 17', x = 35', \sqrt{x} = 5.9, t = 54^{\text{m}} \\ \text{Nousu: } 23^\circ 8', 44', 6.6, 60^{\text{m}} \end{array}$$

Tässä tapauksessa lasketut tuntikulmat on liitettävä alakulminaation hetkeen, joka on  $\frac{1}{2} (8^{\text{h}}51^{\text{m}} + 9^{\text{h}}52^{\text{m}}) + 12^{\text{h}} = 21^{\text{h}}22^{\text{m}}$  ja tulos on siis:

$$\text{Lasku klo } 20.28, \text{ nousu klo } 22.22$$

Ero edelliseen laskuun nähden johtuu pääasiallisesti siitä, että nyt olemme jättäneet tuntikulmat korjaamatta Kuun rektaskension muutoksen takia, koska korjaus on pienempi kuin Kuulle asettamamme 5 min. tarkkuusraja. Kaavan (7) mukaan korjaus tässä tapauksessa on n.  $2\frac{1}{2}$  min.

Kaavoja (8) voidaan sopivasti käyttää myös niiden olojen määrittämiseksi, jolloin taivaankappale meridiaanissa ollessaan juuri hipoo taivaanrantaa. Tällaisista tapauksista tavallisin ja mielenkiintoisin on epäilemättä sydänyön auringon näkymisen raja pohjoisilla leveyksillä. Tällöin on kysymyksessä alempi kaavoista (8) ja  $h$ :n arvo  $-35'$ . Kun  $x = 0$ , on ilmeisesti

$$\varphi + \delta = 90^\circ + h = 89^\circ 25'. \quad (11)$$

Määrätylle paikkakunnalle, jonka leveys on  $\varphi$ , saadaan deklinaatiolle raja-arvo

$$\delta \geq 89^\circ 25' - \varphi.$$

Vastaavat päivämäärät, sydänyön auringon näkymisen rajapäivät, ilmenevät tällöin taulukosta 1. Vastaavasti saadaan määrätylle päivämäärälle niiden leveysien alaraja, joilla Aurinko vielä voi näkyä pohjoisessa,

$$\varphi \geq 89^\circ 25' - \delta.$$

<sup>1</sup> Johdannossa korostetun periaatteen mukaan on kyseessä Auringon keskipiste. Jos halutaan »sydänyön auringon» käsite soveltaa sen yläreunaan, on tähän lisättävä Auringon säteen näennäinen mitta,  $R = 16'$ , jolloin  $h = -51'$ . Tämän tapauksen soveltaminen jääköön asiasta kiinnostuneen lukijan tehtäväksi.



## TAULUKKO I

Auringon deklinaatio keskiyön aikana (klo 24) pituudella  $25^\circ$  EGr.  
(V:ien 1962—65 keskiarvo)

Toukok. 14	$18^\circ 44'$	Kesäk. 10	$23^\circ 03'$	Heinäk. 7	$22^\circ 32'$
17	$19 26$	13	$23 14$	10	$22 11$
20	$20 05$	16	$23 22$	13	$21 46$
23	$20 40$	19	$23 26$	16	$21 18$
26	$21 12$	22	$23 27$	19	$20 46$
29	$21 41$	25	$23 23$	22	$20 11$
Kesäk. 1	$22 07$	28	$23 15$	25	$19 33$
4	$22 29$	Heinäk. 1	$23 05$	28	$18 52$
7	$22 48$	4	$22 50$		

Sydäntalven auringon näkyminen eteläisessä taivaanrannassa määräytyy vastaavasti ylempään yhtälön (8) mukaisesti yhtälöstä

$$\varphi - \delta = 90^\circ 35'.$$

Deklinaatio on tässä tapauksessa negatiivinen.

Kuten hyvin tiedämme, vaikuttaa sydänyön auringon näkymiseen pohjoisessa — ja vastaavasti myös etelässä — oleellisesti havaintopaikan korkeus, eikä tällöin ensi sijassa korkeus merenpinnasta, vaan korkeus yli ympäristön. Tämä voidaan helposti ottaa huomioon, jos tunnetaan todellisen, näkyvän taivaanrannan korkeus matemaattisesta horisontista eli horisonttipisteeseen vedetyn tähtäysviivan poikkeama vaakatasosta. Jos tämä kulma merkitään  $k$ :lla, positiivisena jos taivaanranta on vaakatason yläpuolella, negatiivisena jos se on painunut sen alle, on esim. kaavan (11) sijasta rajatapauksessa

$$\varphi + \delta = 89^\circ 25' + k. \quad (12)$$

Korkeuskulma  $k$  on joko mitattava paikan päällä, tai se voidaan arvioida kartan avulla kaavasta

$$k = 3,44 \frac{z}{s} - 0,23 s, \quad (13)$$

missä  $z$  on horisonttipisteen korkeus yli havaintopisteen (negatiivinen jos se on alempana) ja  $s$  sen etäisyys. Vakiot edellyttävät, että  $z$  lausutaan metreinä ja  $s$  kilometreinä; tällöin  $k$  saadaan kaariminuutteina.

*Esimerkki 4.* Esimerkkinä kaavan (12) käytöstä otettakoon Pallastunturi. Sen korkein huippu on Taivaskero, jonka leveys on  $68^\circ 05'$  ja merenkorkeus 810 m. Sieltä nähtynä on pohjoinen taivaanranta n.  $20'$  horisontin alapuolella ja siis

$$\delta \geq 89^\circ 25' - 68^\circ 05' - 20' = 21^\circ 00'$$

Taulukko I:n mukaan sydänyön auringon näkymisen rajapäivät ovat toukok. 25 ja heinäk. 17, ja yhtämättäisen päivän pituus 54 vrk. Sen sijaan  $3\frac{1}{2}$  km etelämpänä olevaan matkailijahotelliin sydänyön aurinko ei näy ollenkaan. Kartan mukaan sen taivaanrannan pohjoispiste on 2 km:n päässä, Py-

häkeron länsirinteessä oleva piste, joka on hotellia n. 200 m ylempänä. Kaava (13), jonka toinen termi tässä tapauksessa on mitätön, antaa

$$k = 3,44 \frac{200}{2} = 344' = 5^\circ.7$$

Kaavasta (12) saadaan siis deklinaation raja-arvoksi (asteina)

$$\delta \geq 89^\circ.4 - 68^\circ.1 + 5^\circ.7 = 27^\circ.0,$$

jota Aurinko ei koskaan saavuta.

*Nousu- tai laskupisteen atsimuutti.* Tämä saadaan tarkkaan, joko suoraan kaavasta:

$$\cos a = \sec \varphi \sin \delta \sec h + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} h \quad (14)$$

tai, jos  $t$  on edeltäpäin laskettu, kaavasta:

$$\sin a = \cos \delta \sec h \sin t \quad (15)$$

Tässä oikealla puolella olevat suureet ovat samat kuin yllä. Atsimuutti  $a$  lausutaan kaarimitassa; se luetaan eteläpisteestä negatiivisena (vastapäivään) nousupisteeseen ja positiivisena (myötäpäivään) laskupisteeseen.

Samoin kuin yllä voidaan tässäkin laskea likiarvo  $a_0$  kaavasta

$$\cos a_0 = -\sec \varphi \sin \delta \quad (16)$$

tai, jos  $t_0$  on tiedossa, kaavasta:

$$\operatorname{tg} a_0 = \sin \varphi \operatorname{tg} t_0 \quad (17)$$

Kummassakin tapauksessa korjaustermi on:

$$\Delta a_0 = -\frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot h}{\sin a_0} \quad (18)$$

jolloin  $h$ :lle valitaan kaavoista (2) asteina lausutut arvot.

Jos ennen atsimuutin laskemista tuntikulman tarkka arvo  $t$  on tiedossa, on edullisempi  $a_0$ :n sijasta laskea tarkempi likiarvo  $a_1$  kaavasta:

$$\operatorname{tg} a_1 = \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} t \quad (19)$$

Tämän korjaus

$$\Delta a_1 = +\cot \varphi \sin a_1 \cdot h \quad (20)$$

on Suomen alueella korkeintaan  $20' = 0.3^\circ$ ; se voidaan useimmiten, kuulle aina, jättää huomioimatta.

Kuten yllä  $t$ :n kaavoissa, on tässäkin kaavoissa (14), (15) ja (16) käytettävä aktuaalia, nousun tai laskun hetkellä vallitsevaa  $\delta$ :n arvoa. Sen sijaan atsimuutti on täysin riippumaton  $a$ :sta ja sen muutoksista, ja kaavoissa (15), (17) ja (19) esiintyvään  $t$ :hen ei saa sisällyttää korjausta (7). Jos esim. Kuun nousun tai laskun atsimuuttia laskettaessa kaavan (19) mukaan sen  $t$  otetaan suoraan almanakasta meridiaanihituksen ja nousun tai laskun aikaerona, on tästä ajasta siis vähennet-

tävä termi (7), pyöreästi 2<sup>m</sup>1 joka tuntia kohti. Auringolle voidaan sen mukaan, mitä aurinko- ja tähtiajan erosta on edellä (siv. 74) sanottu, käyttää almanakan aikaeroja sellaisinaan.

Lähellä etelä- tai pohjoispistettä tapahtuvan nousun tai laskun atsimuutille voidaan helposti kehittää kaavoja (8) ... (10) vastaavat kaavat, jotka kumminkin vähemmän tärkeinä jääkööt esittämättä.

### Kahden paikan erotuksiin perustuva lasku

Edellisessä luvussa esitetyt täydelliset eli suoran laskun kaavat tulevat harvoin kysymykseen amatöörien käsissä. Jos on tiedossa valmiiksi laskettuja nousun ja laskun aikoja jollekin läheiselle paikkakunnalle — kuten Suomessa on Helsingille ja Oululle —, on useimmiten yksinkertaisinta lähteä niistä, ts. pitää niitä likiarvoina ja vain laskea korjaukset niiden »siirtämistä» varten halutulle paikkakunnalle. Näitä laskuja helpottavia taulukoita onkin useiden, mm. skandinaavisten maiden almanakoissa. Ne perustuvat useimmiten asianomaisten paikkakuntien, siis kyseessä olevan paikan ja almanakan »horisontin», välisiin leveyden ja pituuden erotuksiin. Pituuseron vaikutus on tällöin aina yksinkertainen: idempänä olevalla paikalla kaikkien taivaankappalten nousut ja laskut tapahtuvat aikaisemmin, lännempänä olevalla myöhemmin, ja yhden pituusasteen eroa vastaa tällöin 4 minuutin aikaero. Vain Kuulle olisi oikeastaan näin laskettuun aikaeroon lisättävä 2 sek jokaista sen minuuttia kohti, mikä ei kumminkaan Suomen suuruisella alueella vielä tee täyttä minuuttia. Näin ollen jää vain latitudiero vastava nousu- tai laskuajan muutos varsinaisesti taulukoitavaksi.

Tämä latitudikorjaus saadaan useimmiten riittävän tarkasti jostakin seuraavan kaavan muodosta:

$$\frac{t'-t}{4(\varphi'-\varphi)} = (\operatorname{tg} \delta \cdot \sec^2 \varphi) \sin t = -\frac{\cot t}{\sin \varphi \cos \varphi} = -\sec \varphi \cdot \cot a \quad (21)$$

missä  $\varphi$ ,  $t$ ,  $a$  ovat lähtöpisteeseen kuuluvia arvoja ja  $t'$  haettu suure, siis  $t'-t$  lähtöarvon korjaus. Jos latitudiero  $\varphi'-\varphi$  on asteita ja niiden desimaaleja, saadaan  $t'-t$  minuutteina. Mitään kaavan (7) mukaista korjausta ei näin laskettuun aikaeroon tarvitse liittää. Napapiirin läheisyydessä, ja yleensä kun kaavan (21) antama tarkkuus ei riitä, on tarkka lasku seuraava:

$$2 \sin \frac{1}{2}(t'-t) = [(\operatorname{tg} \varphi' - \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \delta - (\sec \varphi' - \sec \varphi) \sec \delta \sin h]; \sin [t + \frac{1}{2}(t'-t)] \quad (22)$$

Oikean puolen jakajassa esiintyvä korjaussuure  $\frac{1}{2}(t'-t)$  on ensimmäisessä laskussa jätettävä pois tai on sille käytettävä (21):stä saatavaa likiarvoa.

Taulukossa II on laskettu tämän kaavan mukaan korjaukset Auringon Helsingin horisontin mukaisille nousu- ja laskuajoille joka kuukauden 21 päivälle ja puolen leveysasteen välein aina leveyteen 63° saakka. Interpolointi välipäiville ja välileveyksille voi tapahtua n. 1 tai 2 minuutin tarkkuudella.

### TAULUKKO II

Auringon nousu- ja laskuajojen erot Helsinkiin nähden eri leveysille (Helsingin meridiaanissa). Ylempi merkki kuuluu nousuun, alempi laskuun. [Kaava (22)]

P:vä	$\Delta$	$t$	$a$	$\Delta t$							
				59 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> °	60°	60 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> °	61°	61 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> °	62°	62 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> °	63°
XII.21	-23 27	± 2 51	± 39.0	± 6.4	± 1.6	± 3.5	± 8.8	± 14.6	± 20.7	± 27.2	± 34.2
L.21 XI.21	-19 56	± 3 29	± 48.6	± 4.6	± 1.2	± 2.5	± 6.3	± 10.2	± 14.4	± 18.8	± 23.3
II.21 X.21	-10 40	± 4 48	± 69.9	± 2.0	± 0.5	± 1.0	± 2.6	± 4.3	± 5.9	± 7.7	± 9.5
III.21 IX.21	+ 0 29	± 6 08	± 92.6	± 0.2	± 0.0	± 0.1	± 0.2	± 0.4	± 0.5	± 0.7	± 0.9
IV.21 VIII.21	+ 11 59	± 7 32	± 116.4	± 2.5	± 0.6	± 1.3	± 3.3	± 5.4	± 7.6	± 9.9	± 12.2
V.21 VII.21	+ 20 20	± 8 48	± 136.2	± 5.3	± 1.3	± 2.8	± 7.2	± 11.8	± 16.6	± 21.7	± 27.1
VI.21.	+ 23 27	± 9 24	± 145.2	± 7.3	± 1.8	± 3.9	± 10.1	± 16.7	± 23.8	± 31.5	± 40.0

Esimerkki 5. Mitkä ovat Auringon nousu- ja laskuajat Kuopiossa vappuna 1963?

Kuopion leveys on 62°53' ja pituus 2°44' eli 11 min itään Helsingistä. Taul. II:sta saamme interpolamalla leveydelle 62°53':

$$\begin{aligned} \text{Huhtik. 21: } \Delta t &= \mp 11.7^m \\ \text{Toukok. 21: } \Delta t &= \mp 25.9 \end{aligned}$$

ja tästä edelleen toukok. 1 p:lle:  $\Delta t = \mp 16$  min. Lasku on sen jälkeen seuraava:

	nousu	lasku
Helsingissä	4 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>	20 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>
Leveyskorjaus	-16	+ 16
Pituuskorjaus	-11	- 11
Kuopiossa	3 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	20 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>

V:n 1963 »Ajastaika» (s. 137) ilmoittaa 3.56 ja 20.19

Tulos on niin tarkka kuin tällaisessa tapauksessa voimme toivoa.

Huomaamme että jos esimerkissämme olisimme Kuopion sijasta suorittaneet laskun jollekin siitä 1<sup>h</sup>/<sub>4</sub>° eli 5 min. itään olevalle paikkakunnalle (kartan mukaan siis Kaavin Maarianvaaralle), olisi pituuskorjaus ollut -16 min ja siis tulos se, että Aurinko laskee klo 20.14 eli samaan aikaan kuin Helsingissäkin. On helppo todeta, että me jokaiselle päivälle, siis tietylle  $\delta$ :n arvolle, ja erikseen nousulle ja laskulle, löydämme jokaiselta leveyspiiriltä pisteen, jossa taivaankappale on horisontissa yhtäaikaan Helsingin kanssa, ja voimme vaikkapa kokeilemalla todeta, että kaikki näin saadut pisteet kartalla osuvat suoralle viivalle, saman nousun tai laskuhetken uralle.

Tällaisen uran olemassaolon käsitämme ilman muuta, jos kuvittelemme Maan ja Auringon keskinäisen aseman avaruudessa. Auringon keskipisteestä ajattem-

me valonsäteet piirretyiksi Maahan päin. Toteamme että ne sivuavat maapalloa pitkin ympyrää, joka on maanpinnalla valon ja varjon, päivän ja yön raja. Yllä  $h$ :lla merkitsemämme pienen kulman rajoissa tämä rajaviiva on isoympyrä, ja lähentelee siis useimmissa kartoissa suoraa viivaa. Maan pyörimisen johdosta toinen puoli tätä isoympyrää on lähestymässä Aurinkoa — sen pisteillä Aurinko juuri nousee —, toinen puoli taas kääntyy Maan varjopuoleen päin — siellä Aurinko laskee. Useimmat paikkakunnat joutuvat vuorokauden kuluessa kaksi kertaa tälle päivän ja yön väliselle rajalle — Aurinko nousee ja laskee säännöllisesti. Poikkeuksen tekevät vain napaseudut. — Samoin kuin Auringolle, voimme todeta tällaisia näkymisen ja näkymättömyyden rajaviivoja olevan olemassa Kuuhun ja muihinkin taivaankappaleihin nähden.

Jos tämän jälkeen ajattelemme, että me asetumme jollekin tämän rajaviivan pisteelle, huomaamme edelleen, että suunta horisontissa olevaan taivaankappaleeseen on aina kohtisuorassa ylläkuvattua rajaviivaa vastaan, eli että yhtäaikaisen nousun tai laskun ura on jokaisessa pisteessään kohtisuorassa horisontissa olevan taivaankappaleen atsimuuttia vastaan. Tämä toteamus antaa meille mahdollisuuden konstruoida sanottu ura esim. kartalle yllä esittämiemme horisonttipisteiden atsimuuttien avulla.<sup>1</sup>

Taulukoissa III ja IV olen esittänyt näiden samanaikais-urien suuntakulmia (atsimuutteja) Helsingin ja Oulun horisonteille. Laskut olen suorittanut kaavojen (19) ja (20) mukaan, ts. olen valinnut argumentiksi horisonttipisteiden tuntikulmat, näin kolmestakin syystä. Ensiksikin ovat täten Auringolle lasketut taulut käytettävissä muillekin taivaankappaleille, ennen kaikkea planeetoille. Toiseksi osoittautuu, että näin lasketut atsimuutit ovat verrattain suurella tarkkuudella riippumattomat paikan leveydestä, joten Helsingin ja Oulun taulua voidaan käyttää laajalti näiden paikkakuntien ympäristössäkkin, Keski-Suomessa ehkä mieluummin niiden keskiarvoa. Ja lopuksi on valinnan ehkä painavimpana syynä se, että ainakin Auringon ja Kuun tuntikulmat eli päiväkaarien puoliskot ovat helposti kaikkien halukkaiden saatavissa, nimittäin almanakassa ilmoitettujen meridiaanipasaasin ja nousun tai laskun aikaeroina. Ja Auringollehan nämä erot ovat — sen mukaan kuin edellä on jo selvitetty — sellaisinaan käytettävissä ilman korjauksia.

<sup>1</sup> Tämä ura ei tietenkään aina voi esiintyä kartoissa (projektiosta johtuen) suorana, joskin poikkeama yleensä on melkein huomaamaton. Jos viivat halutaan konstruoida tarkemmin (jolloin niistä arvioitavat ajatkin saadaan tarkemmin), on käytettävä kaavan (22) antamia aikaeroja eri leveyksille ja kullakin leveydellä etsittävä se piste, jonka longitudikorjaus vastaa laskettua leveyskorjausta.

## TAULUKKO III

Auringon nousu- tai laskupisteen atsimuutti puolen päiväkaaren funktiona ja samanaikaisen nousun tai laskun uran suunta.

Helsinki				Oulu			
$t$	$a$	Samanaik. ura		$t$	$a$	Samanaik. ura	
		nousu $270^\circ - a$	lasku $90^\circ + a$			nousu $270^\circ - a$	lasku $90^\circ + a$
—	—	—	—	1 <sup>h</sup>	13°.6	256°	104°
2 <sup>h</sup>	26°.4	244°	116°	2	27°.5	243	117
3	40°.7	229	131	3	42°.0	228	132
4	56°.1	214	146	4	57°.3	213	147
5	72°.5	197	163	5	73°.3	197	163
6	89°.7	180	180	6	89°.7	180	180
7	106°.8	163	197	7	106°.2	164	196
8	123°.4	147	213	8	122°.3	148	212
9	138°.8	131	229	9	137°.6	132	228
10	153°.2	117	243	10	152°.2	118	242
—	—	—	—	11	166°.3	104	256

## TAULUKKO IV

Kuun nousu- tai laskupisteen atsimuutti puolen redusoimattoman päiväkaaren funktiona ja samanaikaisen nousun tai laskun uran suunta.

Helsinki				Oulu			
$t$	$a$	Samanaik. ura		$t$	$a$	Samanaik. ura	
		nousu	lasku			nousu	lasku
—	—	—	—	0 <sup>h</sup>	0°.0	270°	90°
1 <sup>h</sup>	12°.7	251°	103°	1	13°.2	257	103
2	25°.8	244	116	2	26°.8	243	117
3	39°.6	230	130	3	40°.8	229	131
4	54°.4	216	144	4	55°.5	214	146
5	70°.2	200	160	5	70°.9	199	161
6	86°.7	183	177	6	86°.8	183	177
7	103°.3	167	193	7	102°.8	167	193
8	119°.6	150	210	8	118°.4	152	208
9	134°.6	135	225	9	133°.4	137	223
10	148°.8	121	239	10	147°.6	122	238
11	162°.0	108	252	11	161°.2	109	251
—	—	—	—	12	174°.5	96	264



Esimerkki 6. Taulukosta III interpoloimme leveydelle  $62^\circ$  seuraavat Auringon samanaikaisen nousun ja laskun urien suunnat:

TAULUKKO V.

Auringon horisonttipisteiden urat (leveys  $62^\circ$ )

<i>t</i>	nousu	lasku	<i>t</i>	nousu	lasku	<i>t</i>	nousu	lasku
$2^{\text{h}}0^{\text{m}}$	$243^\circ.2$	$116^\circ.8$	$4^{\text{h}}40^{\text{m}}$	$202^\circ.7$	$157^\circ.3$	$7^{\text{h}}20^{\text{m}}$	$157^\circ.9$	$202^\circ.1$
20	238 .4	121 .6	5 0	197 .2	162 .8	40	152 .4	207 .6
40	233 .7	126 .3	20	191 .6	168 .4	8 0	147 .0	213 .0
3 0	228 .8	131 .2	40	186 .0	174 .0	20	141 .8	218 .2
20	223 .8	136 .2	6 0	180 .3	179 .7	40	136 .7	223 .3
40	218 .6	141 .4	20	174 .6	185 .4	9 0	131 .7	228 .3
4 0	213 .4	146 .6	40	169 .0	191 .0	40	126 .8	233 .2
20	208 .1	151 .9	7 0	163 .4	196 .6	40	122 .0	238 .0
40	202 .7	157 .3	20	157 .9	202 .1	10 0	117 .2	242 .8

Kuvassa 1 nousun suuntaviuhka on asetettu Suomen kartalle ( $1:4^{1/2}$  milj.) Joroisten kohdalle ( $\varphi = 62^\circ 11'$ ,  $\lambda = 1^{\text{h}}51^{\text{m}}.3$ ). Lisäksi kuvaan on piirretty almanakkakaupungit Helsinki ja Oulu ja niiden leveyspiirit sekä näille minuuttijaotus. V:n 1964 almanakkoja käyttäen saamme esimerkiksi (puoli päiväkaari on meridiaanihituksen ja nousun aikaero):

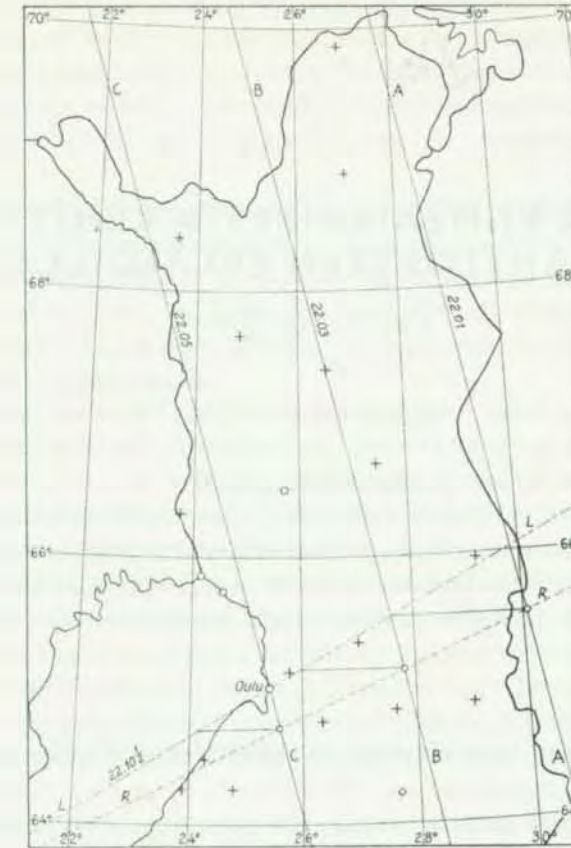
P:vä 1964	Helsingistä				Oulusta			
	nousu	<i>t</i>	$\Delta N$	Jor:ssa	nousu	<i>t</i>	$\Delta N$	Jor:ssa
Syysk. 21	$6^{\text{h}}04^{\text{m}}$	$6^{\text{h}}10^{\text{m}}$	$-11^{\text{m}}$	$5^{\text{h}}53^{\text{m}}$	$6^{\text{h}}0^{\text{m}}$	$6^{\text{h}}11^{\text{m}}$	$-9^{\text{m}}$	$5^{\text{h}}51^{\text{m}}$
Lokak. 1	6 27	5 43	-10	6 17	6 30	5 38	-12	6 18
» 11	6 52	5 15	-8	6 44	7 0	5 5	-17	6 43
» 21	7 17	4 48	-6	7 11	7 32	4 31	-22	7 10
» 31	7 42	4 22	-4	7 38	8 6	3 56	-28	7 38

Tarkkuus on riittävä. — Sama sädekimppu sopii kaikkialla Etelä-Suomessa; käyttöpaikan (ja pohjana olevan kartan mittakaavan) mukaan muuttuvat kulloinkin H:gin ja Oulun asemat ja niiden leveyspiirit minuuttiskaaloineen muuhun kuvioon nähden.

Esimerkki 7. Yksityistapauksen esimerkkinä otettakoon hiukan epätavallinen, mutta silti ehkä mielenkiintoinen tehtävä: auringonpimennyksen näkyvyysrajan määrittäminen (kuva 2).

Heinäk. 20 p:nä 1963 näkyi Pohjois-Suomessa osittainen auringonpimennys, jonka eteläinen näkyvyysraja kulki Suomen halki. Almanakan mukaan pimennys alkoi maamme itärajalla klo 22.01, Oulussa ja länsirajalla (ts. Tornionjokilaaksossa) klo 22.05; piirrämmme sen mukaan kartalle pohjois-eteläsuuntaiset viivat AA, BB, CC alkuhetkille 22.01, 22.03 ja 22.05.<sup>1</sup> Oulun almanakasta toteamme, että Aurinko laski siellä klo 22.10<sup>1/2</sup>, oltuaan meridiaanissa klo 12.24. Laskupisteen tuntikulma on  $9^{\text{h}}46^{\text{m}}$ , ja tälle *t*:lle saamme taul. III:sta samanaikaisen laskun uralle atsimuutin  $239^\circ$  (eli  $59^\circ$ ); piirrämmme

<sup>1</sup> Huomautettakoon, että kyseessä on pohjoistaivaalla näkyvä pimennys, jonka täydellisyysvyöhyke on Kanadassa, meiltä katsoen navan takana, ja sen takia Kuun varjo täällä etenee «takaperin», idästä länteen.



Kuva 2

karttaan tämän uran (viiva LL). Nyt meidän tarvitsee vain etsiä viivoilta AA, BB ja CC pisteet, joiden aikaero LL:stä on  $-9^{1/2}$ ,  $-7^{1/2}$  ja  $-5^{1/2}$  min. Näiden pisteiden itä- ja eteläpuolella Aurinko laski ennen pimennyksen alkua ja ne määräävät haetun rajaviivan (kartassa RR). Piirroksemme heikko kohta on viivojen AA, BB ja CC piirtäminen, niiden tarkkaan sijoittamiseen tarvittaisiin enemmän tietoja kuin almanakassa on; tästä syystä tulos hiukan poikkeaa almanakan ilmoittamasta näkyvyysrajasta.

## PIIRTEITÄ VIIMEAIKAISESTA KEHITYKSESTÄ TÄHTITIETEEN ERI ALOILLA

Kirj. PERTTI JOTUNI

Tähtitiede on niin laaja tutkimusalue, että lyhyeltäkin ajanjaksolta olisi mahdollonta muodostaa sen kehityksestä tasapuolista ja täysin johdonmukaista käsitystä suppean kirjoituksen puitteissa. Seuraavassa on siten ollut pakko tyytyä jossakin määrin mielivaltaisesti valittuihin poimintoihin haluttaessa antaa yleiskuva siitä, mitä huomionarvoisia uusia tutkimustuloksia tähtitieteen alalla on viime vuosina saavutettu. Päähuomio on tässä kohdistettu lähinnä meidän omaa aurinkokuntaamme ja astronomisia havaintojentekolaitteita koskeviin kysymyksiin.

### Avaruustekniikan merkityksestä tähtitieteelliselle tutkimukselle

Ei kuitenkaan voida liioin sivuuttaa sitä tosiseikkaa, että varsinaisen astronomian rinnalle on suunnilleen viimeisten kymmenen vuoden aikana kehittynyt tavallaan sisartiede, avaruustutkimus (engl. *space science*), jonka voidaan summittaisesti sanoa valitsevan tutkimuskohteensa planeettainvälisestä avaruudesta niissä ulottuvaisuuksissa, jotka avaruustekniikan kehitystaso kulloinkin tekee mahdolliseksi saavuttaa. Jos haluaisimme sanoa astronomian tutkimusalueeseen kuuluvan kaiken sen, mikä on välittömästi maapallon ulkopuolella, merkitsisi avaruustieteen syntyminen sen sisällön oleellista laajenemista. Tyypillisiä avaruustieteen tuloksiahan ovat esim. van Allenin vyöhykkeiden löytyminen maapallon ympäriltä tai ne meteoriittien esiintymistiheyttä ja kosmisen säteilyn voimakkuutta ja luonnetta koskevat havainnot, joita miehittämättömienkin avaruusalusten avulla on jo voitu suorittaa. On selvää, että avaruustieteen tulokset ovat usein myös »puhtaan» tähtitieteen kannalta erittäin hedelmällisiä, joten senkään vuoksi ei tarkka rajankäynti ole joka kohdassa välttämätön niiden välillä. Avaruustutkimus tieteellisenä kohteena tarkoittaa siten oikeastaan vain uusien teknillisten välineiden hyväksikäyttöä tähtiä ja avaruutta koskevan tiedon saamiseksi, tiedon, joka on juuri astronomisen tutkimuksen käsittelykohteena. Koska nämä keinot kuitenkin toisaalta merkitsevät myös täysin uutta ja laajuudeltaan hyvin merkittävää aluevaltausta ja koska niiden tutkimus on välttämättömyyden

pakosta sidottu myös teknilliseen avaruuden »valloittamiseen» satelliitteineen ja avaruusaluksineen, on syytä korostaa sitä, että avaruustutkimus ei sanan nykyaikaisessa merkityksessä ole suorastaan rinnastettavissa tähtitieteelliseen tutkimukseen. Seuraavassa esitetyistä esimerkeistä ilmenee selvästi, kuinka tuntuva apua avaruusteknilliset keinot voivat esim. kuu- ja planeettatutkimukselle tarjota.

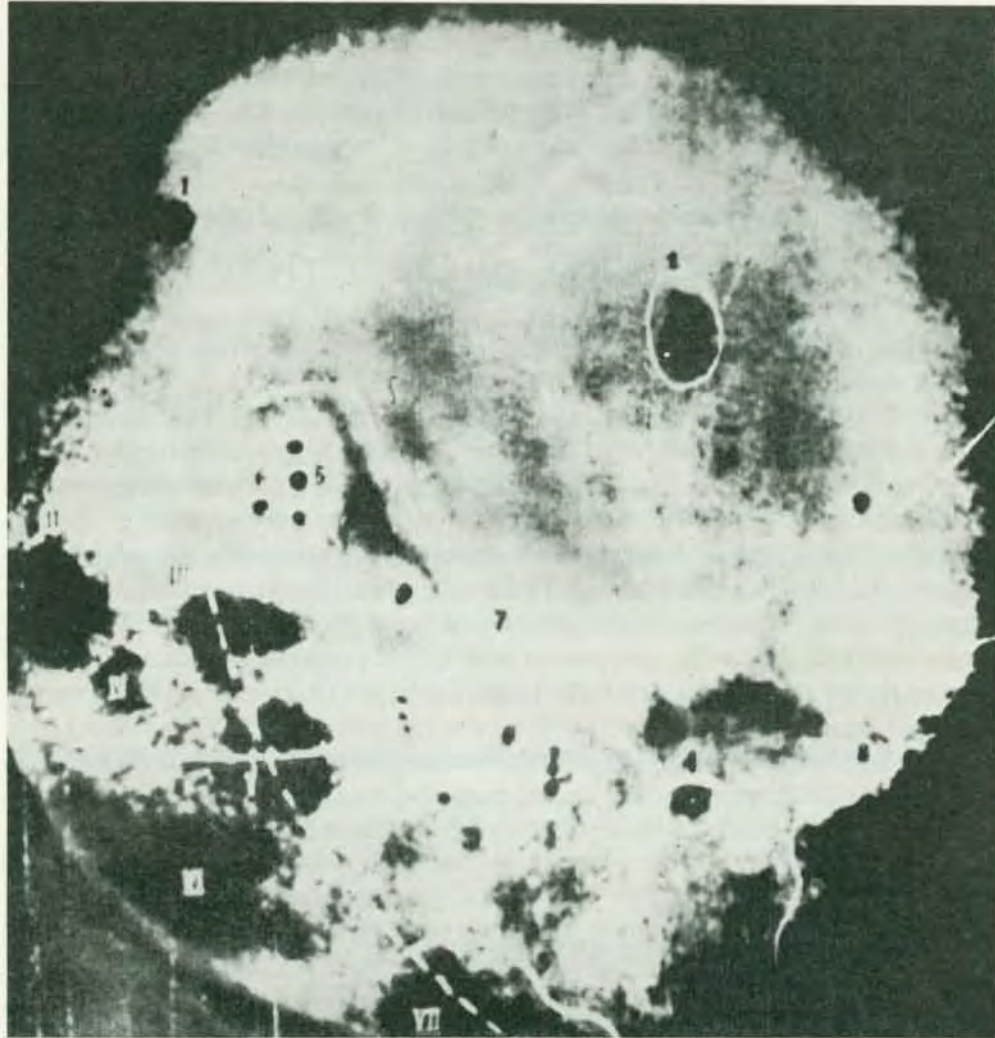
Itse avaruuskokeet ja niiden tulosten tulkinta ovat jo niin laaja alue, että siihen ei tässä voida juuri lainkaan syventyä; palautettakoon vain mieliin, että ensimmäinen onnistunut satelliittikoe suoritettiin niin äskettäin kuin lokakuun alussa vuonna 1957 ja että erilaisia onnistuneita satelliittien ja avaruusaluksien lähettämiskokeita on tähän (maaliskuun alkuun 1965) mennessä suoritettu jo kaikkiaan ainakin runsaasti kolmisensataa.

### Kuun tutkimus

On aivan luonnollista, että avaruusaluksien ja niihin verrattavien uusien tutkimuskeinojen tultua kehitetyiksi juuri Kuu — meitä lähinnä olevana vieraana taivaankappaleena — on joutunut niitä käyttävän tutkimuksen tärkeäksi kohteeksi. Avaruustekniikan keinoihin perustuvat yritykset Kuun tutkimiseksi ovat kuitenkin toistaiseksi varsin lukuisista yrityksistä huolimatta lähinnä vain kolmessa tapauksessa johtaneet tieteellisesti merkittäviin tuloksiin. Tämän näennäisesti huonon tulossaaliin vastapainoksi on kyllä todettava, että molemmilla kerroilla kuu-tietoutemme lisääntyi aivan oleellisesti saataessa vastauksia kysymyksiin, jotka puhtaasti »maanpäällisillä» menetelmillä olisivat olleet todennäköisesti ratkaisemattomia.

#### *Kuun näkymättömän puolen pintamuodot.*

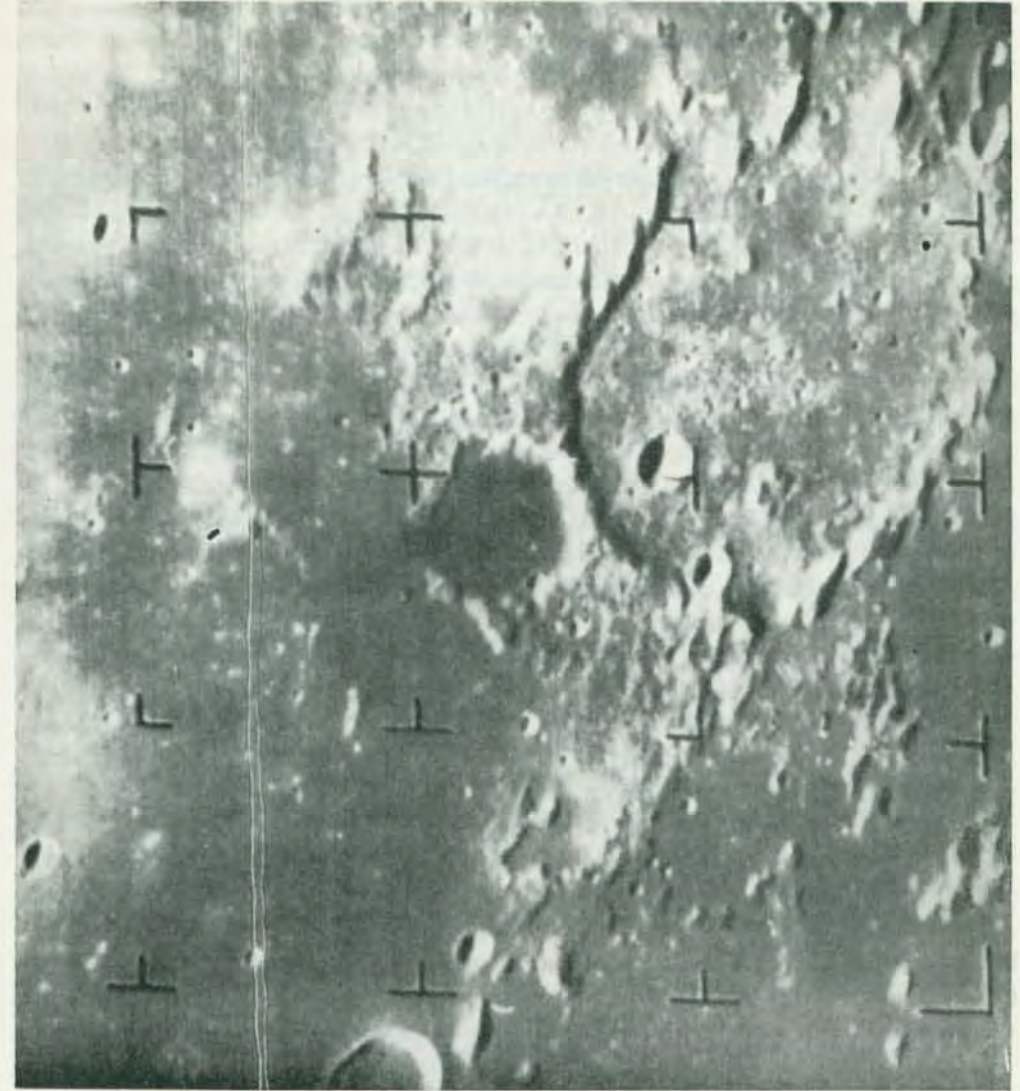
Ensimmäinen mainituista menestyksistä saavutettiin lokakuussa 1959, jolloin neuvostoliittolainen avaruusraketti Lunik 3 kiersi Kuun taitse ja Maata lähestyessään — ennen joutumistaan lopullisesti kiertämään Aurinkoa keinotekoisena planeettana — lähetti Maahan sarjan onnistuneita kuvia Kuun siitä puolesta, joka on meistä pois päin kääntyneenä. Tämä oli kaiken kaikkiaan puhtaan tähtitieteen kannalta oikeastaan ensimmäinen uuden avaruustutkimuksen merkittävä saavutus, joka muuten tavoitettiin vain kaksi vuotta ensimmäisten onnistuneiden teko-kuukokeiden jälkeen — siis aivan »avaruusajakauden» alussa. On tosin huomattava, että näin saadut kuvat eivät tietenkään voi tarjota Kuun »kääntöpuolesta» niin yksityiskohtaista käsitystä kuin sen näkyvästä puolesta on voitu muodostaa, mutta varsin hyvä yleiskuva niiden avulla on silti voitu muodostaa erästä Kuun siihenastisista suurista arvoituksista. Lunik 3:n lähettämässä kuvissa jää vielä osa Kuun »kääntöpuolesta» kokonaan näkymättömiin, joten noin 15 pros. siitä on meille vieläkin tuntematonta.



Kuva 1. Lunik 3:n välittämä kuva Kuun Maahan päin näkymättömästä puolesta. Valkoinen katkoviiva esittää näkyvän ja «kääntöpuolen» välistä rajaa.

Lunik 3:n antamien tulosten tulkinta johtaa päättelemään, että Kuun «kääntöpuolen» pinnanmuodostus yhdessä suhteessa huomattavasti poikkeaa sen näkyvästä puolesta: se on tasaisempaa ja vailla sitä «merien» ja ylänköalueiden vaihtelua, joka tummuuseroina kirjavoi Kuun näkyvän puolen. Kuun kääntöpuoli on melkein kokonaan tasaista ylänköä ja siltä on voitu löytää yksi ainoa uusi «meri», suhteellisen pienikokoinen alue, joka on saanut nimekseen Mare Moscovianum, Moskovan meri.

Tämä selvä, vaikkakin pääpiirteittäinen ero Kuun eri puolien välillä on antanut määrättyä tukea myös niille otaksumille, joiden mukaan «meriksi» nimitetyt Kuun



Kuva 2. Ranger 7:n ottama kuva Kuun pinnasta 750 km:n korkeudelta nähtynä. Kuvan esittämän alueen laajuus on noin  $112 \times 125 \text{ km}^2$ . Pienimpien kraatterien halkaisijat ovat tässä noin 240 m. Suuri kraatteri lähellä oikeata ylänurkkaa on Guericke; sen pohjalla näkyy paljon pieniä sekundäärikraattereita, joita Kuusta irronnut kiviaines on aiheuttanut. Lisäksi Guerickeissä näkyy kaksi suurrehkoa, kartiomaista kraatterikuoppaa; niistä suuremman halkaisija on yli 5 km.

tasangot olisivat syntyneet sulan magman virtauksista ja purkautumista Maan aiheuttaman vuoksen ja luoteen vaikutuksesta. On huomattavaa, että Kuu kääntää juuri «meri»-rikkaan puolensa Maata kohti — sen kiertoliikehän on aikojen kuluessa hidastunut juuri nykyiseksi tämän vuoksi- ja luodeilmiön vaikutuksesta. Täsmällisen vastauksen saaminen Kuun pinnanmuodostuksen arvoituksiin edel-

lyttää kuitenkin pääsyä sinne suorittamaan geologisia tutkimuksia ja ottamaan näytteitä Maassa suoritettavaa jatkoselvitystä varten.

### *Lähikuva Kuun näkyvän puolen pinnasta.*

Amerikkalaisten avaruustutkijoiden miehittämättömällä Ranger 7 -aluksella heinäkuun lopulla 1964 suorittama koe, joka päättyi aluksen törmäämiseen Kuun pintaan ja tuhoutumiseen, osoittautui seuraavaksi suureksi avaruuskokeeksi, jonka tuloksilla on kuututkimuksen kannalta välitöntä ja hyvin huomattavaa tieteellistä arvoa. Ranger 7 otti nimittäin lentonsa viimeisten 18 minuutin ajan Kuun pinnasta yli 4 000 kuvaa noin 0—2 000 kilometrin korkeudelta ja lähetti ne Maahan. Kun ajatellaan, että viimeisissä näistä kuvista voidaan erottaa jopa puolen metrin kokoisia yksityiskohtia parhain maanpäällisin teleskooppein saavutettavan resoluution vastatessa vähintään lähes puolen kilometrin kokoisten detaljien näkymistä, on ymmärrettävää, että näin saavutettu lähes satakertainen kuvatarkkuuden paraneminen antaa mahdollisuudet muodostaa entistä paljon yksityiskohtaisempi kuva Kuun pinnasta. Kaiken tieteellisen informaation talteenottaminen Rangerin kuvasaaliista kestää luonnollisesti vuosia, mutta eräisiin tieteellisesti mielenkiintoisiin kysymyksiin ne loivat uutta valoa melkein välittömästi. Lisäksi on kuvista ilmenevällä tiedolla luonnollisesti suuri merkitys myös Kuuhun suuntautuvien miehitettyjen lentojen suunnittelulle.

Ensimmäinen mielenkiintoinen Ranger-kokeen tulos oli osittaisen vastauksen saaminen vanhaan paljon pohdittuun kysymykseen, peittääkö Kuuta avaruudesta sataneen pölyn muodostama paksu kerros vai ei. Rangerin törmätessä Kuuhun voitiin osumakohdalla Maasta käsin havaita heikko »pölyhdys», mikä näytti viittaavan tällaisen kerroksen olemassaoloon. Lähempi tutkimus osoitti, ettei niin ole tai että pölykerros on hyvin ohut — eräiden arvioiden mukaan ehkä vain noin 30 cm:n paksuinen. Kuun pinta on ilmeisesti kova ja myös suhteellisen huokoinen ainakin sillä alueella, johon Ranger 7 osui. Mainittakoon muuten, että tälle Guericke- ja Lubinietsky-nimisten kraatterien välillä sijaitsevalle kohdalle Pilvien meressä on jo ehdotettu uutta nimeäkin: Mare Cognitum — Tunnettu meri.

Toinen, vieläpä osittain odottamatonkin Kuun pinnanmuodostusta koskeva seikka oli Rangerin ottamista kuvista myös melkein välittömästi havaittavissa, nimittäin se, että Kuulle hyvin tunnusomaiset kraatterit eivät rajoitu ainoastaan suuriin, kuten Maasta käsin näkyviin pintamuotoihin, vaan että niitä on ilmeisesti aivan kaikenkokoisia. Itse asiassa ei kraatterien läpimitalla näytä olevan mitään selvää alarajaa, vaan jopa pienin Rangerin ottamassa kuvassa näkyvä yksityiskohta on arviolta vain vajaan puolen metrin läpimittainen kraatteri. Tämä on hyvin mielenkiintoinen tieto, sillä se näyttää viittaavan siihen, että »kuoppaisuus» on Kuun pinnalle kaikissa mittasuhteissa tunnusomainen ominaisuus, vain »kuoppien» koko vaihtelee hyvin laajoissa rajoissa. Avaruusmatkailijoita ajatellen mainittu seikka on hyvin tärkeä, sillä pienet kraatterit saattavat muodostaa laskeutumista vaarantavan »karikon».

Eräässä artikkelissaan lausuu saksalais-amerikkalainen avaruustutkija WERNHER VON BRAUN, että Rangerin ottamat kuvat tukevat voimakkaasti sitä teoriaa, jonka mukaan Kuun pinnan kraatterit ovat ainakin useinmiten syntyneet meteoriittien törmätessä siihen. Suurehkojen kraatterien ympärille kehämäisesti sijoittuneet ja keskuskuoppaa pienemmät kraatterit ovat tämän mukaan syntyneet siten, että keskuskuopan syntyessä irronnut kiviaines on sinkoutunut sen ympäristöön. Olkoonpa tämä teoria lopullinen selitys kraatterien synnylle tai ei, niin meteoriittien hidas, mutta pitkiä aikoja kestänyt vaikutus Kuun pinnanmuodostukseen on joka tapauksessa ilmeisesti ollut niin voimakas, että siitä voidaan puhua tavallaan samantapaisena kuluttavana ilmiönä, »meteoriittieroosiona», kuin maanpinnalla on tapana puhua ilman ja veden liikkeen aiheuttamasta eroosiosta.

Muutoin on todettava, että niin Lunikin kuin Rangerinkin ottamien kuvien merkitys tieteelle ei ole yksistään siinä, missä määrin niistä saadaan suoria vastauksia vanhoihin kysymyksiin, vaan suureksi osaksi myös siinä, millä tavoin niiden avulla voidaan vastausten etsimisessä hakeutua määrättyille suunnille tai jopa esittää aivan uusiakin problemeja. Tässä suhteessa voitaisiin tarkastelua jatkaa vielä paljonkin pitemmälle eikä kaikkea mainittuihin saavutuksiin kätkeytyvää tietoa ole vielä voitu käsitelläkään lopullisesti. Rangerin ottamien kuvien merkitystä arvioidessa on muuten muistettava, että ne on otettu vain yhdestä kohdasta Kuun pintaa ja että — koska ne tavallaan ovat toistensa osasuurenoksia — kaikkein pienimmät Kuun pinnan niissä näkyvät yksityiskohdat ovat varsin harvakuksia.

Helmikuussa 1965 sai Ranger 7 seuraajan samannimisestä kahdeksannesta miehittämättömästä kuualuksesta, jonka tehtävänä ollut, vastaavanlaisten noin 7 000 valokuvan ottaminen Kuun Rauhallisuuden merestä onnistui yhtä hyvin. Näidenkin kuvien tutkimus ja vertailu Ranger 7:n ottamista ilmenevien tulosten kanssa ovat luonnollisesti vielä kesken. Uusille kuville on tunnusomaista niissä teknillisin keinoin aikaansaatu »syvyysvaikutelma» ja se, että niistä voidaan saatujen tietojen mukaan paremmin kuin aikaisemmista myös kartoittaa Kuun pinnalla kuvauskohdassa vallitsevia korkeuseroja ja pintamuotojen jyrkkyysuhteita. Uutta on myös se, että joissakin Ranger 8:n ottamista kuvista näkyy aikaisemmin kartoittamaton kohta Kuun pintaa.

### *Maasta käsin tehtävät kuuhavainnot. Kuuobservatoriot. Kuuatlatset.*

Avaruusteknisillä keinoilla on tähtitieteilijän, myös Kuun tutkijan, kannalta eräitä vakavia rajoituksia, ennen muita se, että ainakin toistaiseksi voidaan varsin harvoin tehdä suurimittaisia avaruuskokeita. Myös avaruuskokeiden epäonnistumisprosentti on kuu- ja planeettatutkimuksen kannalta mielenkiintoisten yritysten osalta vielä pysynyt melko suurena, kuten tähän julkaisuun liittyvästä tekokuutaulukosta ilmenee. Vastapainona on se, että onnistuneiden avaruuslentojen kuluessa saadaan yleensä runsaasti uutta tieteellistä informaatiota kerrallaan. Molemmat mainitut haitat tulevat tosin ajan mittaan myös poistumaan,



mutta silti nimenomaan Maasta käsin tehtävien havaintojen ja tutkimusten merkitys tulee varmuudella vielä kauan säilymään keskeisimpänä. Tätä osoittaa sekin, että kuuobservatorioiden mahdollisimman edullisia sijaintipaikkoja etsitään jatkuvasti eri puolilta maapalloa, mm. Havaijilta ja Etelä-Amerikasta on niitä viime vuosien aikana paljon haettu.

Vuonna 1962 valmistui Kaliforniassa sijaitsevaan Lickin observatorioon uusi, 305 cm:n teleskooppi, jonka erotuskyky merkitsi uutta »maailmanennätystä» Maasta käsin suoritettavien kuuhavaintojen alalla. Teleskoopilla voidaan saada näkyviin vain noin 300 metrin läpimittaisia yksityiskohtia Kuun pinnalla. Ilmeisesti kuitenkin hieman myöhemmin valmistuvaksi suunniteltu Pic du Midi de Bigorren 3250 metrin korkeudessa sijaitsevan ja Manchesterin yliopiston omistaman »vuorenhuippuobservatorion» 109-senttisen apertuurin omaava teleskooppi on osoittautunut myös erittäin tehokkaaksi, ainakin ennakkotiedot kertoivat siitä tulevan juuri tässä suhteessa maailman parhaan.

Viime vuosina on Kuuhun kohdistuvan tutkimuksen tuloksena suurilla maailmankielillä ilmestynyt myös entistä perusteellisempia kuukartastoja. Niiden joukkoon kuuluu Neuvostoliiton tiedeakatemian julkaisema, myös englanniksi ilmestynyt *Atlas of the Moon's Far Side* (Kuun »kääntöpuolen kartasto»).

### *Kysymys vulkaanisesta toiminnasta Kuussa.*

Mutta vaikka Kuun kraatterien synty useimmissa tapauksissa näyttääkin eräiden asiantuntijoiden mukaan saavan selvityksensä meteoriittien vaikutuksesta, on silti kysymys Kuussa esiintyneestä ja ehkä vieläkin tavattavasta tulivuoritoiminnasta toistaiseksi vailla lopullista ratkaisuaan. Mitä tulee vulkaanisen toiminnan jälkeensä jättämiin sitoviin merkkeihin, saamme ilmeisesti tyytyä odottamaan niitä siltä ajalta, jolloin Kuussa päästään käymään ja ottamaan näytteitä. Sitä ennen voidaan suoranaisia osoituksia siitä saada vain onnellisesti oikealla hetkellä suoritettujen havaintojen avulla.

Tällaisia havaintoja on todella tehty, myös viime vuosina. Mm. vuonna 1958 havaitsi neuvostoliittolainen tutkija N. A. KOZYREV, että Alfonsus-nimisen kraatterin keskustassa olevasta vuoresta — vulkaaniseen alkuperään viittaava piirre muuten? — purkautui ilmeisesti kiinteitä ja kaasumaisia tuotteita. Eräitä oletettuja kaasupurkauksia on myös spektroskooppisesti tutkittu ja saatu tuloksia, joita useat Kuun tutkijat, mm. juuri tällä alalla hyvin ansioitunut englantilainen astronomi PATRICK MOORE, ovat taipuvaisia pitämään osoituksina vulkaanisen toiminnan olemassaolosta Kuussa.

Vuoden 1963 lopussa ja seuraavan vuoden alussa havaittiin toisaalta USA:ssa ja toisaalta Japanissa Kuun pinnalla lyhytaikaisia, liikkuvia ja ulottuvaisuusiltaan pieniä värillisiä ilmiöitä — molemmissa paikoissa kaikesta päättäen sama ilmiö — jotka suuresti muistuttivat kaasupurkauksia ja joita on toistaiseksi ollut mahdotonta selittää millään muilla kuin vulkaanisilla perusteilla. Ilmeiseksi jää

kuitenkin tässäkin, että oleellisesti uutta tietoa vulkaanisen toiminnan merkityksestä Kuussa saadaan vasta miehitettyjen kuumatkojen aikana.

### *Fysikaalisten ilmiöiden mittaukset Kuusta.*

Oman tyypillisen ryhmänsä kuututkimuksen tehtävistä muodostavat ne havainnot, joita on tehty mittaamalla erilaisia Kuun pintaan liittyviä fysikaalisia ilmiöitä, kuten siitä heijastuvan valon ominaisuuksia, sen lämpötilaa ym. Tällaisia seikkoja ja monia muitakin, joiden yksityiskohtiin puuttuminen veisi tässä liian pitkälle, on myös viime vuosina varsin menestyksellisesti suoritettu Kuusta mm. fotometrinen, spektroskooppisten sekä eripituisten aaltojen, kuten infra-puna- ja radioaaltojen, hyväksikäyttöön perustuvien menetelmien avulla. Samaan tutkimusryhmään kuuluvana voitaisiin tässä mainita vielä Kuun fotogeologinen tutkimus, jonka tuloksia on niin ikään koottu suuriin atlaksiin eli karttakokoelmiin. Fotogeologisten selvitysten tarkoituksena on tarkoin valokuvauksin ja kuvia tulkitsemalla valottaa Kuun pinnan eri kohtien ja piirteiden geologista luonnetta ja ominaisuuksia.

### *Kuu telekommunikaatiokokeilujen apuvälineenä.*

Kuu on juuri sopivalla etäisyydellä ja sopivan suuruinen kelvataksaan eräänlaiseksi telekommunikaation tutkijoiden koekentäksi, mikä voitaisiin tavallaan kuututkimukseen kuuluvana erikoisuutena mainita. Sen kautta on kokeilumielessä heijastettu mm. radioaaltoja viestien siirtämisessä mantereilta toiselle ja Kuuhun suunnattiin pari vuotta sitten myös lasersäde haluttaessa selvittää sen dispersiota eli hajaantumista kartiomaiseksi. Tulos kokeesta, joka valaisi Kuun pinnasta hyvin rajoittuneen läikän, osoitti selvästi, että lasersäteiden dispersio on aivan teorian vaatimalla tavalla erittäin vähäinen.

### *Amatöörit kuututkijoina.*

Eräs erikoinen piirre viime vuosien ja sitä aikaisemmassa kuututkimuksessa on merkillepantava: amatöörien osuus. Kun Kuuta koskeva tietous optisen astronomian mahdollisuuksien keinoin näytti saavuttaneen rajansa, joita ei enää missään oleellisissa kohdissa pystyittäisi ylittämään, jäi kuututkimus — lähinnä Kuun »maantiedettä» koskevien uusien piirteiden paljastaminen — pääasiassa amatöörien tehtäväksi. Tuloksena, joka on selvästi tullut esille uusien kuukartastojen laadittaessa, oli että amatöörien suorittama työ osoittautui erittäin arvokkaaksi lisäksi Kuun ulkonaisten piirteiden yksityiskohtaiseen tunteutumukseen.

## Venuksen tutkimus

Kuun jälkeen ovat mielenkiintoisimpia meitä lähinnä olevat planeetat, Venus ja Mars. Merkittävimmät uutuuudet niiden tutkimuksessa ovat olleet — ja tulevat lähimmässä vastaisuudessaakin olemaan — avaruusteknillisten suoritusten tulosta.

Joulukuussa vuonna 1962 Venuksen 34 000 kilometrin etäisyydeltä sivuutaneen amerikkalaisen avaruusrakettin Mariner 2:n Maahan lähettämien mittaus-tulosten perusteella näyttää lopullinen käsityksemme Venuksen pinnalla vallitsevista olosuhteista muodostuvan varsin lohduttomaksi, kuten jo aikaisemmat teo-riat olivat useissa kohdin päätyneet olettamaan. Kaikkea Mariner 2:n lähettämää tulosaineistoa ei liene vielä täysin tulkittukaan joka kysymyksen kannalta, johon se voisi luoda valoa, mutta oleellisimman tuoreimmasta Venus-käsityksestämme voinee supistaa seuraavaan kuvaan: Venus on luultavasti kuiva, ilmakehältään hapeton ja ainakin sen yläkerroksesta kuuma planeetta, jonka lämpötila on noin 400—450 °C ja jonka pintaa pyyhkii lakkaamaton hiekkamyrsky kaasukehän liik-keiden kulutettua planeetan pinnasta eroosion vaikutuksesta aikojen kuluessa suuria määriä kiinteätä ainetta. Varsinaisesti eivät Mariner 2:n antamat tulokset liene lainkaan valaisseet Venuksen pintaolosuhteita. Kuitenkin, kun otetaan huo-mioon hapen puuttuminen sen kaasukehästä, ei ole toivoa ainakaan elollisten olioiden löytämisestä Venuksen pinnalta. Pilvien koostumus ja pyörähdysaika — kaksi tämän maapalloa mitoiltaan muistuttavan »kaksoisplaneettamme» suurta arvoitusta — ovat vieläkin lopullisesti selvittämättä. Mariner-tulokset näyttävät kuitenkin tukevan sitä vanhaa olettamusta, jonka mukaan Venuksen vuorokausi olisi noin 250 Maan vuorokauden pituinen.

Pääasiassa maanpäällisistä mittaushavainnoista ovat peräisin seuraavat Ve-nusta koskevat uudet tutkimustulokset, jotka osaltaan valottavat tämän planeetan kolmea suurta arvoitusta: kaasukehää, pilviä ja pyörähdysaikaa.

Kaasukehän koostumusta ja lämpötilaa selvitetessä on spektroskooppisesti osoitettu, että sen hiilidioksidin voidaan päätellä paikoitellen olevan 175 °C lämpö-tilassa ja että paine kaasukehän alaosissa olisi noin 10 Maan ilmakehää. Sentti-metriaaltojen emissiosta on päätelty, että Venuksen pintalämpötila olisi noin 350 °C. Eräiden tutkimusten mukaan kaasukehän lämpötila olisi spektroskoop-pisten mittausten perusteella peräti useita satoja C-asteita. Pilvien spektroskoop-pisessa tutkimuksessa osoitti amerikkalainen KUIPER, että pilvet ainakaan eivät sisällä läpimitaltaan yli 0,1 mm suuruisia jääkiteitä. Hän on osoittanut myös, että hiilimonoksidia ei Venuksen kaasukehässä ole ja että hiilen sekä hapen isotooppi-koostumukset ovat siellä samat kuin Maassakin. Venuksen pyörähdysaikaa on yri-tetty määrittää sekä USA:ssa että Neuvostoliitossa seuraamalla planeetan kaasu-kehän lämpötilaa ennen ja jälkeen sen konjunktion. Yhdistetyt tulokset näistä mittauksista viittaavat siihen, että Venuksen pyörähdysliike on todella hyvin hi-dasta, mutta epätietoiseksi jää, olisiko se sama kuin Venuksen vuosi, jolloin se kääntäisi aina saman puolensa Aurinkoon päin. Tämä tuntuisi erittäin epätoden-

näköiseltä, mutta eräiden tutkijoiden saamiin tulosten mukaan niin ei voikaan olla asianlaita. Mariner 2:n antamien tulosten mukaan Venuksen magneettinen kenttä on ainakin sen sivuutusetaisyydellä heikko, mikä tuntuisi yllättävältä, koska hitaan pyörähdysliikkeen voisi asettaa syy-yhteyteen sulan sisuksen vir-tauksessa esiintyvän kitkan kanssa ja siinä tapahtuva sekoitus taas edistäisi voi-makkaan magneettisen kentän muodostumista. Mahdollisesti kenttä on aikojen kuluessa heikontunut.

## Mars tutkimuksen kohteena

Marsia koskevaan tietouteemme on hyviä toiveita saada lisää vuoden 1965 kes-kivaiheilla, jolloin kahden sinne tätä kirjoitettaessa matkalla olevan avaruusrake-tin, marraskuun 28 päivänä lähetetyn amerikkalaisen Mariner 4:n ja kaksi päivää myöhemmin lähteneen neuvostoliittolaisen Zond 2:n lasketaan saapuvan maa-linsa läheisyyteen.

Yksi niistä keskeisistä Mars-ongelmista, joihin tutkimus on jatkuvasti kohdistu-nut, on kysymys elollisen elämän olemassaolosta siellä. Marsin pinnalta on mel-kein pä toistuvasti, joskin eripituisin väliajoin ilmoitettu havaitun ilmiötä, jotka mm. spektroskooppinen tutkimus panee olettamaan elämän aiheuttamiksi. Voi-daan toistaiseksi pitää mahdollisena että Marsissa todella olisi esim. sinileviin ver-rattavia alkeellisia kasvielämän muotoja. Missä määrin Mariner ja Zond tuovat osittaisenkin vastauksen tähän kiintoisaan kysymykseen, on tietysti vaikeata ar-vata. Marinerin tehtävänä on kyllä noin 13 000 kilometrin, toisten tietojen mukaan 16 000 km etäisyydeltä ottaa parisenkymmentä kuvaa Marsin pinnasta, mutta täl-lainen matka on niin pitkä, että elollisten formaatioiden täytyisi olla melko suuria, jotta ne olisivat varmasti tunnistettavissa.

Marsin niihin toistaiseksi ratkaisemattomiin arvoituksiin, joista ei ennen ava-ruusalusten antamia tietoja voitane mitään oleellisesti uutta sanoa, kuuluvat myös sen kuut. Nehän poikkeavat pienuutensa ja monien muidenkin huomatta-vien sekä tärkeiden ominaisuuksiensa puolesta kaikista muiden planeettojen kuista. Täysin tyhjentävää ja ristiriidatonta teoriaa niiden alkuperästä ei liene esi-tetty vielä kukaan, ellei sellaiseksi katsota sitä erään neuvostoliittolaisen tutkijan huomautusta, että kaikki Marsin kuiden erikoisuudet voitaisiin selittää oletta-malla ne jonkin tuntemattoman kulttuurin jättämiksi avaruuslaivoiksi! Voinee käydä niinkin, että jo 1965 tähän ongelmaan saadaan hiukan uutta valoa, sillä ei liene mahdotonta, että kuut suuren nopeutensa ansiosta voisivat sattua Mari-nerin ja Zondin havaintokenttään niiden lähestyessä maaliaan.

Vuosi 1962 oli muuten poikkeuksellisen huono vuosi Marsin havaitsijoille.



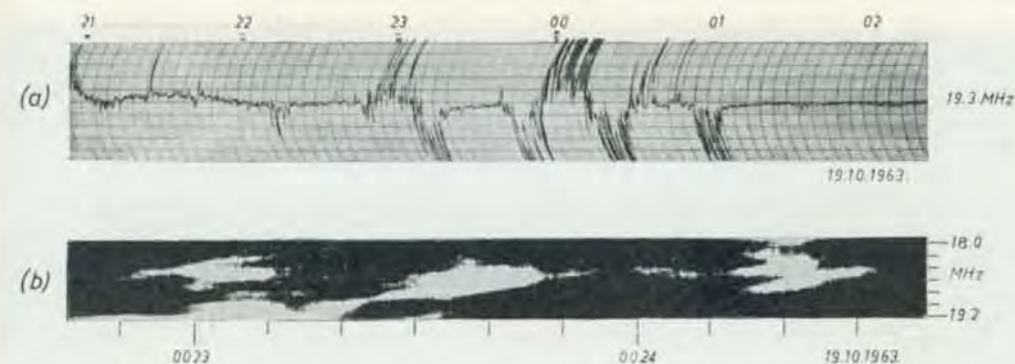
Kuva 3. Jupiter. Kuvasta näkyvät selvästi planeetan pilvijuovat ja vasemmassa yläosassa kuuluisa »punainen pilkku».

## Jupiterin tutkimus

### *Jupiterin radiosäteily.*

Muista planeettakuntamme jäsenistä on Jupiter radiosäteilynsä ansiosta ollut viimeisten kymmenen vuoden ajan radioastronomien vilkkaan mielenkiinnon kohteena. Tässä se poikkeaa muista planeetoista, vain Auringon on jo aikaisemmin tiedetty lähettävän myös radiosäteilyä ja Kuusta on todettu sama — mutta tietenkin vain Auringosta tulevan säteilyn heijastamana.

Jupiterin radiosäteily tuli tutkijoille alunperin odottamattomana yllätyksenä, sillä radioastronomian varsinaiset työkohteet olivat siihen saakka olleet pääasiassa etäiset radiotähdet ja säteilijöiksi osoittautuneet tähtisumut. Amerikkalaiset astronomit B. F. BURKE ja K. I. FRANKLIN havaitsivat vuonna 1955 seuratesaan kuuluisan Äyriäissumun radiosäteilyä 13,5 metrin aalloilla häiriöilmion, jonka ohikulkuaika oli toinen kuin Äyriäissumun, mutta sopi yhteen Jupiterin ohikulkuajan kanssa. Säteilylähteeksi voitiinkin varmasti osoittaa juuri Jupiter. Vähää myöhemmin australialainen radioastronomi C. A. CHAIN totesi BURKEN ja FRANKLININ antamien tietojen perusteella tarkistaessaan Sydneyssä edellisinä vuosina koottua havaintoaineistoa, että Jupiterin radiosäteily oli 16,5 metrin aal-



Kuva 4. Radiomyrskyä Jupiterissa Helsingin yliopiston radioastronomisella asemalla rekisteröitynä.

loilla itse asiassa jo todettukin, mutta sen oli luultu aiheutuvan ilmakehässä esiintyvistä ja ihmisen aiheuttamista häiriöistä.

Jupiterin säteilyä on tarkkailtu ja sitä tarkkaillaan edelleenkin hyvin innokkaasti eri puolilla maailmaa, ja mm. Suomessakin ja Helsingin yliopiston radioastronomisella asemalla on tehty sitä koskevia järjestelmällisiä havaintoja ja tutkimuksia. Ainakin kolme säteilevää kohtaa on Jupiterissa voitu osoittaa, mutta yksi niistä on selvästi muita voimakkaampi. Jupiterin radiosäteily on siis keskittynyt niin sanoakseni paikallisesti eri kohdille planeettaa — koko planeetta ei ole siis mikään tasainen säteilijä — ja säteilykohtien kiertoaajat planeetan akselin ympäri on voitu määrittää. Radiosäteily-»systeemien» pyörähdysajat poikkeavat hieman toisistaan, ovat lähellä Jupiterin pilvivyöhykkeiden pyörähdysaikoja, mutta silti pysyvät tarkemmin vakinaisina kuin viimeksi mainitut eikä radiosysteemien pyörähdysajan vaihtelu näytä olevan riippuvainen pilvivyöhykkeiden pyörähdysajan epätasaisuuksista. Jupiterin radiosäteilyn syistä on esitetty useitakin eri teorioita, mutta niiden yksityiskohtainen tarkastelu veisi tässä liian pitkälle. Todettakoon siis vain, että tämä arvoitus odottaa vielä toistaiseksi lopullista ratkaisuaan. Eräs selitys perustuu siihen ajatukseen, että Jupiterin radiosäteily olisi ns. Tšerenkov-säteilyä ja että sen aikaansaisi elektronivuo, joka irtoaa Jupiteria Maan tapaan ympäröiviltä van Allenin vyöhykkeiltä. Teoriassa on vain eräs vika: se edellyttää, että Jupiterilla täytyisi olla van Allenin vyöhykkeet ja varsin tarkkaan määrätynlainen magneettinen kenttä. Epäsuorasti onkin mikroaaltomittauksin voitu todeta, että van Allenin vyöhykkeet planeetalla on ja viitteitä on saatu myös siitä, että sen magneettinen kenttä olisi kallistunut mainitun teorian mukaisella tavalla.

### *Jupiterin optinen ja muu tutkimus.*

Jupiter on tunnetusti muutoinkin varsin »dynaaminen» planeetta ja ilmeisesti varsinkin sen kaasukehässä tapahtuu jatkuvasti levottomia muutosilmiöitä, joiden eräänä osoituksena ovat olleet siinä jopa useaan otteeseen havaitut ns. punai-

set täplät. Vuosi 1962 oli jälleen eräänlainen Jupiterin «kiihkeä» vuosi; sen pinnalla näkyvät ruskeankeltaiset juovat olivat poikkeuksellisen voimakkaita ja melkein kokonaan peittivät muutoin varsin kirkkaana näkyvän ekvaattorivyöhykkeen.

E. J. ÖPIK on myös äskettäin julkaissut varsin perusteellisen selvityksen Jupiterin koostumuksesta ja kehityshistoriasta. Jupiterin kaasukehän koostuminen pääasiallisesti jalokaasuista, ammoniakista ja metaanista on jo vanhastaan ollut tunnettu asia. ÖPIK:n mukaan planeetan kiinteä osa sisältää kiinteätä heliumia ja vetyä, minkä mukaan sen lämpötilan pitäisi olla hyvin lähellä absoluuttista nollapistettä; sen sijaan lämpötila pilvikerroksen yläosassa olisi  $-117^{\circ}\text{C}$  (aikaisempien arvioiden mukaan  $-140^{\circ}\text{C}$ ) ja paine 11 Maan ilmakehää. ÖPIK:n tulokset ovat kyllä perin teoreettisia ja voi tuntua vaikealta selittää niiden avulla Jupiterin kiinteän osan tiheys niin suureksi kuin sen tulisi olla.

### Muut planeetat

»Kaksosplaneetoista» Uranuksesta ja Neptunuksesta on W.S. PORTER julkaissut vastaavanlaisen selvityksen kuin ÖPIK Jupiterista. Hänen mukaansa niiden kiinteä massa on suureksi osaksi jähmettyneestä ammoniakista muodostuneen kerroksen peitossa. Toistaiseksihan tietomme suurten planeettojen sisä rakenteesta ovat pääasiallisesti teoreettisten päätelmien varassa, mutta eri lähtökohdista lähtemällä voidaan tälläkin tavalla vähitellen täsmentää käsitystämme niissä valitsevien olosuhteiden yksityiskohdista, kuinka pitkälle sitten sillä tavoin lieneekään mahdollista päästä.

Pikkuplaneettoihin kuuluvien ns. troijalaisten asteroidien radan stabiliteetti on teoreettisilla perusteilla joutunut joitakin vuosia sitten kyseenalaiseksi. Pari vuotta sitten on kuitenkin E. RABE osoittanut, että epäilykset eivät pidä paikkaansa, vaan että aikaisemmat käsitykset niiden ratojen stabiliteetista ovat oikeita. Tällä sinänsä vähäpätöisen näköisellä seikalla on oma huomattava merkityksensä, sillä jos osoittautuisi, että kaikki asteroidit eivät pysyvästi kierräkään Aurinkoa, ts. niiden liikkeen jaksollisuus olisi »epästabiliili», se aiheuttaisi omat pulmansa esim. aurinkokunnan syntyteorian yksityiskohdille. Tämä täysin teoreettisella pohjalla liikkunut tieteellinen keskustelu on maininnan arvoinen tässä oikeastaan siksi, että se osoittaa sattuvasti, kuinka aivan klassillisetkin, kuten tässä »epäajankohtaisena» tutkimuksen alana pidettyyn matemaattiseen taivaanmekaniikkaan kuuluvat probleemit voivat sukeltautua esille aikana, jolloin täysin muunlaiset ongelmat ovat tähtitieteellisen tutkimuksen polttopisteessä.

### Tähtitieteellisten »ikkunain» laajentaminen

Tähtitieteellistä havaintojen tekoa, joka on myös teorioiden laatimisen välttämättömän edellytys, voidaan verrata tähyilyyn himmennetyn ikkunan läpi. Tämän ik-



Kuva 5. Eräs tunnetuimpia avaruuden radiolähteitä, Härän tähdistön Äyriäissumu, joka on vuonna 1054 räjähtäneeksi havaitun novan jäännös. Radiosäteily on tämän hajoamisen jälkiseurausta. Julkaistaan Anso Corp.:n luvalla.

kunan muodostavat näkyvän valon nimellä tunnettu sähkömagneettinen säteily ja sitä himmentämässä on aina ollut ilmakehä, joka häiriöineen, säätilanmuutokseen ja suorastaan valonsäteilyä imemällä pienentää Maan pinnalle tähdistä ja avaruudesta saapuvien viestien määrää. Tätä rajoitusta on jatkuvasti pyritty välttämään ja siihen perustuu osa viimeaikaisen tähtitieteen kehitystä.

Eräs tapa parantaa tätä seikkaa on avata »uusia» ikkunoita niillä aallonpituusalueilla, joissa se on mahdollista. Tämä on toteutunut — vieläpä erittäin laajakantoiseksi osoittautuneella tavalla — radioastronomian synnyssä. Radioastronomia onkin osoittautunut niin monipuoliseksi uudeksi avaimeksi tähtimaailmaan, että sen syntymistä tullaan luultavasti pitämään lähes sen murroksen veroisena, jonka Galilei aikoinaan aiheutti keksimällä optisen kaukoputken.

Mahdollisena uutena tulokkaana tähtitieteen »ikkunoiden» joukossa voidaan pitää myös syntymässä olevaa neutrinotähtitiedettä, johon ei kuitenkaan tässä lähemmin syvennyttä.

### *Optisen »ikkunan» parantaminen.*

Toinen tapa parantaa havaintojentekomahdollisuutta on poistaa »optisesta», so. valoaaltoja käyttävästä »ikkunasta» himmennystä, mikä voi puolestaan tapahtua vain parantamalla optisia havaintovälineitä ja valikoimalla niiden sijaintipaikkoja tai siirtämällä ne ilmakehän ulkopuolelle. Ensin mainitun alueen eräistä saavutuksista on kunobservatorioiden yhteydessä jo tehty selkoa, mutta muutama lisäys voi olla vielä paikallaan.

Mielenkiinto nimenomaan suuria, 1—2 metrin apertuurin omaavia teleskooppeja kohtaan on kasvanut voimakkaasti varsinkin 1960-luvun alkuvuosina. Tähän liittyen on myös kasvava mielenkiinto alettu tuntea ilmakehän aiheuttamien häiriöiden systemaattista tutkimusta kohtaan edullisimpia observatorion sijaintipaikkoja etsittäessä. Niinpä on mm. amerikkalaisen Kitty Peak National Observatorion ja neuvostoliittolaisen Pulkovan observatorion toimesta suorastaan lähetetty erikoisteleskooppein varustettuja tutkimusretkikuntia mm. Etelä-Amerikan vuoristoalueille etsimään sopivimpia havaintoasemien sijoituskohtia. Näissä tutkimuksissa käytetään ilmakehässä esiintyvien häiriöiden voimakkuuden arvioimiseksi erilaisia menetelmiä, mm. saman tähden kuvaamista suurella, noin 1—2 metrin apertuurisella teleskoopilla, jossa on kaksi vaihdettavaa, hieman erilaista objektiivia. Tällä tavoin saadaan kuvastusta tähdestä kaksoiskuva, jonka mitauksilla voidaan ilmakehän aiheuttamien häiriöiden voimakkuus arvioida. Myös sellaista epäsuoraa menettelyä on käytetty, jossa maanpinnan yläpuolella pystysuorassa suunnassa esiintyvät ilman lämpötilan vaihtelut mitataan korkeisiin, liikuteltaviin torneihin asetetuilla tai sondipallojen varassa ilmaan kohotetuilla elektronisilla lämpömittareilla. Määrättyjä alueita tällä tavoin systemaattisesti tutkimalla voidaan suhteellisen luotettavasti selvittää, onko niiden rajoissa sopivia observatorion sijoituskohtia. Menetelmän periaate nojautuu tietenkin siihen

ajatukseen, että lämpötilan vaihtelut aiheuttavat ilmakehän taitekertoimessa muutoksia ja siten myös häiriöitä tähtien optisessa havaitsemisessa.

Useita edellä mainittuun suuruusryhmään kuuluvia teleskooppeja niin stellaa-ritähtitieteellisiä kuin Auringon, planeettojen tai Kuun tutkimusta varten on pystytetty viime vuosina eri maihin.

Sellaisten seutujen, jotka jo vanhastaan on tunnettu rikkaiksi hyvistä astronomisista havaintojentekopaikoista, kuten Välimeren ja Mustan meren ympäristön, Kahalin erämaan Etelä-Afrikassa, USA:n lounaisosan sekä Chilen ja Perun välisten rajaseutujen, on myös kauan tiedetty olevat lähellä sellaisten maantieteellisten alueiden keskustoja, joille hyvät astronomiset työskentelyolosuhteet ovat luonnon puolesta ominaisia. Nykyään järjestelmällinen observatorioiden sijaintipaikkojen etsintä kohdistuukin enää vain pienessä mittakaavassa suoritettuihin tutkimuksiin, joiden tarkoituksena on tällaisilta jo sinänsä lupaavimmilta alueilta löytää maailman parhaiden astronomisten observatorioiden sijoituspaikkojen täsmällinen sijainti.

### *Uusi jättiläisteleskooppi.*

Mt. Palomarin kuuluisa 5 metrin jättiläisteleskooppi on valmistumisestaan 1948 saanut häiriintymättä säilyttää maineensa alan suurimpana ja kauimmas näkeväna edustajana koko maailmassa. Neuvostoliittolaiset tutkijat ovat kuitenkin ilmoittaneet, että heillä on rakenteilla 6 metrin teleskooppi, jonka valmistuttuaan odotetaan pystyvän tunkeutumaan vielä pitemmälle avaruuden etäisimpiin osiin kuin mm. Mt. Palomarin teleskoopin.

### *Kvartsooptiikan käyttö.*

Pienenä erikoisuutena — vaikkakaan ei ehkä edes tärkeimpänä — teleskooppien materiaalivalikoiman kehittymisestä mainittakoon sulatetun kvartsin ottaminen lasin tilalle ainakin linssien aineksena. Syynä on se, että tällöin saavutetaan suurempi toimintavarmuus ja optisten pintojen pienempi arkuus ympäristön lämpötilanmuutosten aiheuttamille muodonmuutoksille. Kvartsooptiikkaa on käytetty mm. ainakin Flagstaffin observatoriossa Arizonassa sen uudessa astrometrisessä teleskoopissa, jonka eräs asiantuntija on leimannut yhdeksi Amerikan mielenkiintoisimmista teleskooppiuutuuksista vuodelta 1962.

### *Sondipallotekniikan käyttö.*

Ilmakehän aiheuttamien häiriöiden torjumiseen on periaatteessa olemassa toinenkin mahdollisuus optisen »ikkunan kirkastamisessa» kuin häiriöttömien havaintopaikkojen etsiminen ja havaintolaitteiden parantaminen. Tämä mahdollisuus perustuu sondipallojen varassa ylempiin ilmakerroksiin nostettavien teleskooppien käyttöön, joka tietenkin on sellaisenaan suhteellisen hankala ja kallis menettely.

Sitä lieneekin — siihen kohdistetusta mielenkiinnosta huolimatta — pidettävä lopullisesti vain väliaikaisratkaisuna odottaessa aikaa, jolloin avaruustekniikan kehittymisen ansiosta pystytään rakentamaan kokonaisia miehitettyjä satelliitti-asemia esim. joidenkin satojen tai tuhansien kilometrien korkeuteen. Sondipallon suurin työskentelykorkeus ei voine olla juuri 25—30 kilometriä enempää, minkä lisäksi sen varassa olevan teleskoopin suuntaaminen ja sen suorittama rekisteröintitoiminta aiheuttavat välttämättömästi omat vaikeutensa. Niinpä amerikkalaisen Princetonin yliopiston Stratoscope II -ohjelmassa vuosilta 1962 ja 1963, jossa 91 cm:n läpimittainen teleskooppi kohotettiin sondipallon avulla 20 kilometrin korkeuteen suorittamaan infrapunahavaintoja Marsista, nostettavat laitteet kokonaisuudessaan painoivat lähes kolme tonnia. Jo mainitussa korkeudessa on ilmakehän havaintoja häiritsevä vaikutus katsottava melkein olemattomaksi.

## KUULUMISIA URSAN TÄHTITORNISTA

Kirj. JUHANI KAKKURI

Tähtitieteellisellä yhdistyksellä Ursalla on Helsingissä tähtitorni, joka sijaitsee kauniin luonnon keskellä Kaivopuiston korkeimmalla kalliolla. Torni palvelee Ursan tarkoituseriä kahdella tavalla: 1) siellä järjestetään tähtitieteen tuntemuksen levittämiseksi tähtinäytäntöjä yleisölle, ja 2) se suo tähtitieteen harrastajille mahdollisuuden suorittaa omaa tutkimustyötä: tutustua tähtitaivaaseen havaitsemalla tähtiä ja valokuvaamalla niitä. Myös Aurinkoa voidaan tornissa tutkia.

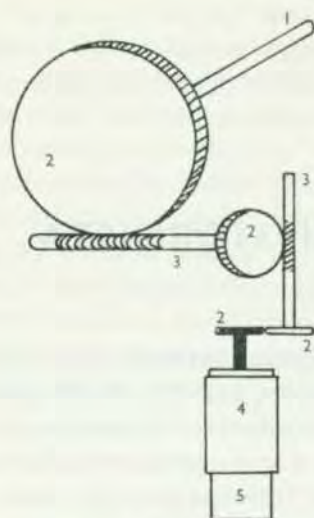
Ursan tähtitornissa on erittäin hyvällä optiikalla varustettu refraktori, joka on pystytetty parallaktisesti. Objektiivin polttoväli on 2 metriä ja halkaisija 14 cm. Valokuvaamista varten refraktori on varustettu kellokoneistolla. Kellona toimii keväällä 1963 Amerikasta hankittu synkronimoottori tyyppimerkiltään SS 152—RC. Moottorin on toimittanut Suomeen helsinkiläinen Oy Control Ab. Vaihtovirralla (240 V) toimiva synkronimoottori on erinomainen kellolaite. Sen pyörimisnopeus on sidottu täsmällisesti vaihtovirran jaksolukuun. Verkkoon kytkettynä se säilyttää pyörimisnopeutensa kuormituksen vaihteluista huolimatta.

Synkronimoottorin liike välitetään kaukoputken kiertoliikkeeksi koneistolla, jonka periaate selviää kuvasta 1. Välytsakseleiden kierteiden nousut ja välytsrat- taiden säteet ovat siten mitoitettut, että kaukoputki seuraa tarkasti tähtitaivaan vuorokautista kiertoliikettä. Mahdollinen pieni käynti korjataan hienosäätöruuveilla. Synkronimoottorin kiertosuunta voidaan kytkimellä muuttaa vastakkaiseksi.

Kuvassa 2. näkyy tähtitornin suuri refraktori etsijäputkineen sekä tukipilariin kiinnitetty kellokoneisto kytkimineen.

Ursan tähtitornin kellokoneisto on suurimmalta osaltaan ursalaisten käsialaa. Välytskoneiston on suunnitellut ja rakennuttanut vuonna 1954 torninhoitajana toiminut professori MATTI NURMIA. Syksyllä 1962 dipl. ins. ESKO HIRVONEN suoritti Ursan tähtitornissa perusteellisen tutkimuksen sopivimman moottorin löytämiseksi. Hänen ehdotuksestaan tähtitorniin sitten hankittiin erinomaiseksi osoit- tautunut synkronimoottori SS 152—RC.

Pitkinä ja pimeinä öinä ursalaiset ovat suorittaneet tornissaan tähtivaloku- vausta. Valokuvauskoneena on käytetty joko isoa refraktoria tai siihen kiinnitet- tyä kinofilmikameraa. Ursalaiset ovat saavuttaneet hyviä tuloksia vaihto-optii- kalla varustetulla kinofilmikameralla. Normaaliobjektiivilla (polttoväli esim. 50



- 1 = kaukoputken akseli  
 2 = välitysrattaita  
 3 = välitysakseleita  
 4 = synkronimoottori  
 5 = RC-laite

Kuva 1.



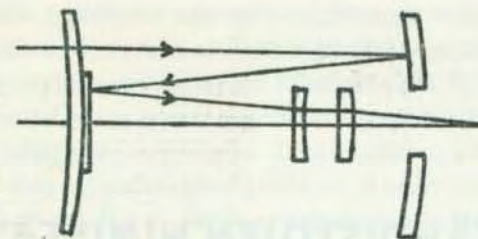
Kuva 2.

mm) on saatu selviä ja kauniita valokuvia kokonaisista tähdistöistä. Joskus taivaalla liikkuva Sputnik on osunut kameran kuva-alueelle ja jättänyt jälkensä filmille.

Tähtikuvioiden yksityiskohtien sekä tähtisumujen kuvaamisessa tarvitaan valovoimakas teleobjektiivi, jollaisia ursalaisilla onkin ollut käytettävissään. Mielenkiintoisia tuloksia on saavutettu valovoimakkaalla japanilaisella Reflex-Nikkor objektiivilla. Objektiivin rakenne selviää kuvasta 3. Se on ns. katadioptrinen peilien ja linssien yhdistelmä, jonka polttoväli on 500 mm, valovoima 1:5 ja kuvakulma on 5°. Tarkentaminen tapahtuu joko visuaalisesti kameran prismatähtäimen kautta tai kokeellisesti ottamalla useita eri kuvia tarkennusruuvia välillä kiertäen. Koska objektiivi on sangen kevyt, se painaa vain 1.6 kg, on sitä helppo käsitellä ja sen saa refraktoriin tukevasti kiinni.

Kirjoittajan tietämän mukaan eräät ursalaiset ovat kokeilleet tähtitaivaan valokuvaamista värifilmille. Muutamia diapositiivikuvia on esitetty Ursan kokouksessakin. Reflex-Nikkor objektiivilla on otettu muutamia tunnelmallisia värikuvia ilta-auringosta. Diapositiivifilmille (esim. Agfa CT 18) otetut tähtikuvat antavat selvän ja havainnollisen käsityksen öisestä taivaasta.

Tähtivärikuvauksen verrattain nuori tähtitieteen haara. Maailman suurissa tähtitorneissa sitä on hyvällä menestyksellä harrastettu vasta muutamia vuosia. Optimistisimmat tähtitieteilijät ovat ihastuksissaan pitäneet sitä radioastronomiaan



Kuva 3.

verrattavana edistysaskeleena tähtitieteen historiassa. Joka tapauksessa: tähtivärikuvauksen on helppo harrastaa, ja se on jokaisen tähtitieteestä innostuneen mahdollisuuksien rajoissa. Ursan tähtitornissa ursalaiset tullevatkin sitä lähivuosien aikana paljon kokeilemaan.

## TÄHDISTÖJEN NIMISTÄ

Kirj. B. E. SELJO

On luultavaa, että jo ammoin tähtitaivasta tarkkailleet varhaisten sukupolvien ihmiset olivat huomanneet sen seikan, että kirkkaat tähdet voivat muodostaa sellaisia ryhmiä, jotka helpottavat himmeämpien tähtien löytämistä ja tunnistamista. He myös näkivät erilaisia tähtisikermiä, joita he varmaankin yhdistivät laajoiksi kokonaisuuksiksi. Ne he jo varhaisessa vaiheessa olivat hahmottaneet erilaisiksi kuvioiksi. Niille oli annettu eläinten ja myöhemmin kreikkalaisten tarusankarien nimiä, jotka ovat jääneet elämään nykyaikaan saakka. Kaikesta päätäten näistä entisajan ihmisten rehevän mielikuvituksen loihtimista kuvioista ja hahmoista on saanut alkunsa tähtitaivaan jakaminen tähdistöiksi.

Nykyään tiedetään, että egyptiläiset tähdistöt olivat laajoja, koska ne oli muodostettu useasta tähtisikermästä. Niinpä Nekht-tähdistön meridiaanin ylitys kesti melkein 6 tuntia.

Hahmotellessaan tähdistöjään egyptiläiset loivat ainutlaatuisen käsitteen, jolla tuli olemaan huomattava vaikutus usean vuosisadan aikana niin alkemiassa kuin astrologiassakin. Tämä käsite oli dekaani, jota voidaan nimittää kymmenjaksoksi. Sillä egyptiläiset tähtitieteilijät tarkoittivat kymmenvuorokautista jaksoa, jota voidaan pitää tämänpituuisena viikkona. Taivaalta oli valittu 36 sellaista tähteä taikka tähtisikermää, jotka sijaitsivat lähellä taivaan ekvaattoria. Näin muodostui taivaalle ekvaattorin suuntainen vyöhyke, johon kuului 36 kymmenen asteen laajuista lohkoa. Toisin sanoen kymmenjaksot olivat tähtitaivaan alueita, joiden läpimitta oli n. 10°. Näitä kymmenjaksoja käytettiin osoittamaan yöllä kuluva aikaa nousujensa ja myöhemmin ohikulkujensa avulla, jolloin »tunti» oli n. 40 minuuttia. Näistä kymmenjakson tähdistä läntisin nousi auringonlaskun jälkeen 10 vuorokautta myöhemmin kuin edellisen jakson läntisin tähti. Tähän nojautuen egyptiläinen kalenterivuosi oli jaettu 36 dekaaniin, toisin sanoen vuoden 12 kuukaudessa oli 36 kymmenvuorokautista jaksoa.

Hellenistisessä ja keskiaikaisessa astrologissa käytetyt dekaanit pohjautunevat egyptiläisten käyttämiin kymmenjaksoihin. Edellä mainitun astrologian terminologiassa dekaanit määriteltiin eläinradan huoneiden kolmanneksina, jolloin ne olivat 10°:n pituisina ekliptikan osina, kaarina ja lohkoina. Näille lohkoille ei yleisesti annettu nimiä, vaan ne numeroitiin kysymyksessä olevan eläinradan huoneen 1:senä, 2:sena ja 3:ntena dekaanina, kymmenjaksoina.

Englantilainen tähtitieteilijä A. C. D. CROMMELIN (1865—1939) on väittänyt,

vaikka hän ei ole sitä (riittävän selvästi) osoittanut, että egyptiläiset jo 4 000 vuotta ennen Kristuksen syntymää olisivat ryhmittäneet tähdet tähdistöiksi. Sitä vastoin kreikkalaissyntyinen ranskalainen tähtitieteilijä E. M. ANTONIADI (1870—1944) esittää kirjassaan *L'Astronomie égyptienne* egyptiläisten tuntemien tähdistöjen luettelon. Eläinradan pohjoispuolella olevan taivaan alueen he olivat jakaneet 21 tähdistöön. Eläinrata eli zodiakki oli heillä 12-tähdistöinen, kuten nykyäänkin. Sen eteläpuolella oli 15 tähdistöä. Myös ranskalainen tähtitieteilijä P. ROUSSEAU on esittänyt sen väitteen, että todistuskappaleisiin perustuen — joita hän ei kuitenkaan tuo esille — voidaan katsoa muinaisten kansain tunteneen 48 tähdistöä.

Atsteekit tunsivat kiinnostusta Aurinkoon ja tähtien heliakkiisiin nousuihin. He lienevät hahmotelleet 13 tähdistön zodiakin.

Alla oleva taulukko osoittaa sen, mitä eläimiä eri kansat ovat sijoittaneet eläinrataan eli zodiakkiin. Eläinradan tähdistöjen ja huoneiden suomenkieliset nimet ovat seuraavat: Oinas, Härkä, Kaksoiset, Krapu, Leijona — huone Jalopeura—, Neitsyt, Vaaka, Skorpioni, Jousimies, Kauris, Vesimies ja Kalat.

latinal.	egyptil.	persial.	siamil.	kiinal.
Aries	Kissa	Koira	Koira	Koira
Taurus	Koira	Kana	Kukko	Kukko
Gemini	Käärme	Apina	Apina	Apina
Cancer	Kovakuoriainen	Lammas	Vuohi	Lammas
Leo	Aasi	Hevonen	Hevonen	Hevonen
Virgo	Leijona	Käärme	Pieni lohikäärme	Käärme
Libra	Kauris	Krokotiili	Iso lohikäärme	Lohikäärme
Scorpius	Härkä	Jänis	Kaniini	Jänis
Sagittarius	Varpushaukka	Tiikeri	Tiikeri	Tiikeri
Capricornus	Apina	Härkä	Lehmä	Härkä
Aquarius	Ibis	Hiiri	Rotta	Rotta
Pisces	Krokotiili	Sika	Sika	Sika

Kreikkalainen tähtitieteilijä KLEOSTRATOS, latinaksi Cleostratus, Tenedoslainen vaikutti noin 520—500 ennen ajanlaskuamme. Hän mm. havaitsi, milloin ja missä eläinradan tähdistöissä Aurinko, Kuu ja kiertotähdet liikkuvat vuoden kuluessa. Myös kerrotaan, että hän jakoi eläinradan 12 huoneeseen, joiden läpimitta oli noin 30 astetta. Sen sijaan kreikkalainen filosofi ja astronomi EUDOKSOS (408—353 eKr.), jonka syntymäpaikka oli Vähän Aasian Knidos, oli kirjoittanut kuvauksen 44 kreikkalaisten silloin tuntemasta tähdistöstä. Yhdelle niistä hän oli antanut nimen Lyyra, kreikaksi ja latinaksi Lyra. EUDOKSOKSEN laatima kirjoitus on valitettavasti kadonnut. Onneksi sen pohjalta kreikkalainen runoilija ARATOS (315—245 tai 240 eKr.) on sepittänyt noin 270 eKr. tähtitieteellisen opetusrunon »Fainomea». Siinä hän esittää 44 EUDOKSOKSEN kuvailemaa tähdistöä. Tämä runo on säilynyt roomalaisen valtiomiehen M. T. CICERON (106—43 eKr.) latinaksi kääntämässä muodossa.

Vielä on mainittava kreikkalainen polyhistori ERATOSTHENES, Aleksandrian suuren kirjaston hoitaja, joka mainitsi Coma Berenices-sikermän, mutta vasta tanskalainen tähtitieteilijä TYGE BRAHE vakiinnutti sen tähdistöinä. Sitä vastoin



kreikkalainen tähtitieteilijä HIPPARKHOS Nikaialainen (190—125 eKr.) on nimenyt toiseksi pienimmän tähdistön, joka on Equuleus, Pieni hevonen.

Aleksandrialainen tähtitieteilijä KLAUDIUS PTOLEMAIOS, jonka nimi latinaksi on Claudius Ptolemaeus, teki ensimmäisen tähtitieteellisen havaintonsa 127 jKr. ja viimeisen 151 jKr. Näin pääsemme selville hänen elinajastaan, josta muuten ei ole tarkkoja tietoja. PTOLEMAIOS on kirjoittanut teoksen *Mathematike syntaksis*, jonka toinen nimi kreikaksi on *Megale syntaksis*. Mutta sen yleisemmin tunnettu arabialaisperäinen nimi on *Almagest*, joka johtuu kreikan kielen superlatiivista meghiste. Tämän nimen olivat antaneet arabialaiset tähtitieteilijät A. D. 827 kääntämälleen teokselle *Mathematike syntaksis*. *Almagestissa* luetellaan 48 silloista tähdistöä, mutta jos Antinoos, latinaksi Antinous, otetaan huomioon, on niitä silloin 49 tähdistöä, joihin Egyptin Aleksandriassa näkyvä tähtitaivas oli jaettu, vaikka välissä oli tähdistöihin kuulumattomia alueita. Siellä näkyvä ala ulottui noin 59 astetta taivaanpallon ekvaattorista etelään, siis deklinaatioon —59 astetta. Mutta vielä 1 000 vuotta jälkeen Kristuksen nähtiin noin 4 ° etelämmäksi, so. —63 asteeseen saakka.

KLAUDIUS PTOLEMAIOS *Almagestissaan* ilmoittaa 1017 tähden ja viiden sumumaisen objektin sekä kolmen Bereniken hiuksiin kuuluvan kohteen paikan tähtitaivaalla 49 tähdistössä, joista Argo-laiva ja Centaurus olivat eteläisimmät. Niinpä PTOLEMAIOKSEN *Mathematike syntaksis*-teoksessa luetellaan 1025 paljain silmin nähtyä objektia, jotka kuuluivat ensimmäisestä kuudenteen kirkkausluokkaan ja vieläpä aivan himmeät seitsemänteen kirkkausluokkaan.

#### POHJOISET TÄHDISTÖT

Ursa minor	Arktos mikra	7 + 1 tähteä
Ursa major	Arktos megale	27 + 8 *
Draco	Drakon	31 *
Cepheus	Kefeus	11 + 2 *
Bootes	Bootes	22 + 1 *
Corona borealis	Stefanos boreios	8 *
Hercules	En gonasin	28 + 1 *
Lyra	Lyra	10 *
Cygnus	Ornis	17 + 2 *
Cassiopeia	Kassiopeia	13 *
Perseus	Perseus	25 + 3 + (1)
Auriga	Heniokhos	14 *
Ophiuchus	Ofiukhos	24 + 5 *
Serpens	Ofis	18 *
Sagitta	Oistos	5 *
Aquila	Aetos	9 + 6 *
Delphinus	Delfis	10 *
Equuleus	Hippu protome	4 *
Pegasus	Hippos	20 *
Andromeda	Andromeda	23 *
Triangulum	Trigonon	4 *
Antinous	Antinoos	

Antinous, joka on osa Vulpeculae (Kettua), ei kuulu nykyään tähdistöjen nimistöön. KLAUDIUS PTOLEMAIOS luettelee 21 (22, jos Antinous lasketaan mukaan) pohjoisen taivaan tähdistöä, joihin kuului 330 tähteä ja yksi sumumainen kohde. Se on h Persei J. BAYERIN mukaan. Tässä luettelossa se on näin (1) merkitty. Tähdistöjen lähellä näkyi 29 tähteä. Näin ollen oli luuteloitu 360 pohjoisen taivaan objektia.

#### ELÄINRADAN TÄHDISTÖT

Aries	Krios	13 + 5
Taurus	Taurus	32 + 11
Gemeni	Didymoi	18 + 7
Cancer	Karkinos	8 + 4 + (1)
Leo	Leon	27 + 5 + 3 B
Virgo	Parthenos	26 + 6
Libra	Khelai, Zygon	8 + 9
Scorpius	Skorpios	21 + 2 + 1
Sagittarius	Toksotes	30 + 0 + (1)
Capricornus	Aigokeros	28
Aquarius	Hydrokhoos	42 + 3
Pisces	Ikthyes	34 + 4

Eläinradan tähdistöihin kuului 287 tähteä ja 2 sumumaista objektia. Näitä eläinradan tähdistöjä lähellä oli 56 tähteä ja 1 sumumainen kohde. Näin ollen oli (287 + 56 =) 343 tähteä, 3 sumumaista kohdetta ja 3 objektia Bereniken hiusten alueella, jota silloin ei vielä pidetty tähdistönä. Tällä vyöhykkeellä oli kaikkiaan 349 objektia.

#### ETELÄISEN TAIVAAN TÄHDISTÖT

Cetus	Ketos	22
Orion	Orion	37 + 0 + (1)
Eridanus	Potamos (Eridanos)	34
Lepus	Lagoos	12
Canis major	Kyon	18 + 11
Canis minor	Prokyon	2
Argo navis	Argo	45
Hydra	Hydros	25 + 2
Crater	Krater	7
Corvus	Koraks	7
Centaurus	Kentauros	37
Lupus	Therion	19
Ara	Thymiaterion	7
Corona australis	Stafanos notios	13
Piscis austrinus	Ikthys notios	11 + 6

*Almagestin* tähdistö- ja tähtiluettelo sisältää 15 eteläisen taivaan tähdistöä, joihin kuului 296 tähteä ja yksi sumumainen objekti. Näitä tähdistöjä lähellä oli 19 tähteä. Kaikkiaan oli (296 + 19 =) 315 tähteä ja yksi sumumainen kohde Orionissa. Näin ollen oli luuteloitu 316 objektia.

Argo-laiva, argonauttien tähtitaivaalle siirretty Argo navis, on haaksirikkoutunut ja pirstoutunut etelän myrskyissä OIVA TUULION mukaan kuudeksi tähdistöksi: Antlia, Carina, Pictor, Puppis, Pyxis ja Vela.

TAULUKKO »ALMAGESTIN» TÄHDISTÄ

	A	B	C	D	E	F	G
Pohjoiset tähdistöt	330	29	359	1			360
Eläinradan tähdistöt	287	56	343	2	1	3	349
Eteläisen taivaan tähdistöt	296	19	315	1			316
Kaikki 48 tähdistöä	913	104	1017	4	1	3	1025

- A = tähtiä tähdistöissä  
 B = tähtiä tähdistöjen lähellä  
 C = edellisten ryhmien summa  
 D = sumumaisia kohteita tähdistöissä  
 E = sumumaisia kohteita tähdistöjen lähellä  
 F = objekteja Bereniken hiuksissa  
 G = objekteja kaikkiaan

Suomalainen romanisti ja orientalisti OIVA (TALLGREN-) TUULIO (1878—1941) on julkaissut tutkielman *Survivance arabo-romane du Catalogue d'étoiles de Ptolémée*, josta on lainattu tähän artikkeliin *Almagestin* tähdistöluettelo. Samoin hänen artikkelinsa tähtien ja tähdistöjen nimistä, jotka on julkaistu »Tähtitiedettä harrastajille» I ja II, on ollut lähteenäni, syvinä kaivoina, joista olen runsaasti ammentanut tietoja. O. TUULION mukaan Amphora, joka on latinaa, on tarkoittanut Vesimiehen osaa taikka koko tähdistöä, mutta nykyiseen nimistöön se ei kuulu. Arcitenens, latinaa, »jousta pitelevä», ei kuulu nykyiseen nimistöön, mutta se tarkoittaa Sagittarius-tähdistöä. Serpens-tähdistö on kaksiosainen. Caput, pars anterior, tarkoittaa tähdistön läntistä osaa, siis Käärmeen päätä. Cauda, pars posterior, tarkoittaa taas Käärmeen itäistä osaa. Naos, joka kreikaksi on naus, tarkoittaa laivaa. Naos oli alkuaan Argo navis-tähdistön nimi, mutta nyt se on ainoastaan ζ Puppis-tähden lisänimi.

Vasta 17:nnellä vuosisadalla J. BAYER ja J. HEVEL ja edellisen vuosisadan viimeisellä vuosikymmenellä P. D. KEYZER muodostivat eteläisen tähtitaivaan karvoittamattomasta alueesta, mikä oli Aleksandrian horisontin alapuolella, useita tähdistöjä. Heidän tietojensa pohjana oli se, mitä merimiehet olivat heille kuvailleet.

Toisen hollantilaisen merimiehen kanssa PETER DIRKSZ. KEYZER 1595 määritteli karkeasti 300 tähden paikan eteläisellä taivaalla. Wieniläisen tähtitieteilijän O. THOMASIN mukaan KEYZER on nimennyt 12 tähdistöä. Ne ovat Apus, Chamaeleon, Dorado, Grus, Hydrus, Indus, Musca, Pavo, Phoenix, Triangulum australe, Tucana ja Volans. Dorado on espanjaa. Siitä on joskus käytetty nimeä Piscis auratus, siis Kultakala.



Osa vanhasta tähtikartasta, Orion, Härkä ja Ajomies.

Saksalainen laki- ja pappismies JOHANNES BAYER (1576—1625) laati ja 1603 julkaisi *Uranometria omnium asterismorum*-teoksen, joka sisältää 60 silloin tunnettua tähdistöä. Hän on nimennyt seuraavat tähdistöt.

Apis, latinaa, on Mehiläinen. Se on hylätty nimi.

Apus, kreikkaa. Alkuperäinen nimi oli Avis indica, joka tarkoittaa Intian lintua, Paratiisilintu.

Chamaeleon, kreikkaa, Kameleontti.

Indus, latinaa. On sanottu, että Bayer nimesi tämän eteläisen taivaan tähdistön Amerikan intiaanien kunniaksi.

Ksifias, kreikkaa, latinaksi Xiphias. Tämä on sama tähdistö kuin Dorado, Kultakala.

Musca, latinaa. Alun perin se oli Apis musca australis. H. von Bronsartin mukaan tämän tähdistön on nimennyt J. Bartsch.

Pavo, latinaa, Riihkinkukko.

Phoenix, latinaa, Feeniks.

Triangulum australe, latinaa, Etelän kolmio.

Tucana, latinaa, Tukaani.

Volans, latinaa. Alkuperäinen nimi oli Piscis volans, Lentokala.

Saksalainen tähtitieteilijä JAKOB BARTSCH, latinaksi Jacob Bartschius, oli J. KEPLERIN vävy. J. BARTSCH oli myöhemmin matematiikan professori Strassburgissa. Hän laati ja julkaisi 1661 tähtikartan *Planisphaerium stellatum seu Vize-Globus Coelestis in Plano delineatus*. BARTSCH on antanut nimen kolmelle tähdistölle.

Kamelopardalus, kreikkaa, latinaksi Camelopardalus, Kirahvi.

Monokeros, kreikkaa, latinaksi Monoceros, Yksisarvinen.

Musca, latinaa, Kärpänen.

Saksalaisen JULIUS SCHILLERIN tähtikartta ilmestyi 1627 laajentaen ja täydentäen J. BAYERIN 1603 ilmestynyttä tähtikarttaa. Augsburgilainen J. SCHILLER olisi tahtonut muuttaa pakanalliset ja tarustolliset tähdistöjen nimet kristilliseksi nimiksi. Niinpä J. SCHILLERIN kristillinen tähtitaivas *Coelum stellatum christianum* ilmestyi 1627. Siinä oli 49 taulua. Jokaisessa 49 tähtikartassa oli selvitys tähdistöjen pakanallisista ja kristillisistä nimistä. Pohjoisen tähtitaivaan tähdistöille hän antoi Uuden Testamentin henkilöiden nimiä, eläinradan tähdistöille 12 apostolin ja eteläisen taivaan tähdistöille Vanhasta Testamentista otettuja nimiä.

Danzigilainen panimon omistaja JOHANNES HEWELCKE (1611—87) oli amatöörιαstronomi. Hänet tunnetaan paremmin nimellä Hevel tai siitä latinaistetulla muodolla HEVELIUS, jota hän teoksissaan käytti. J. HEVEL on 1690 ilmestyneessä »Uranografiassaan» antanut nimen kuudelle taikka seitsemälle tähdistölle.

Canes venatici, latinaa, Ajokoirat.

Lacerta, latinaa, Sisilisko.

Leo minor, latinaa, Pieni leijona.

Lynx, latinaa, kreikaksi Lynks, Ilves.

Monoceros, latinaa, kreikaksi Monokeros, Yksisarvinen.

Scutum, latinaa, Kilpi. Alkuperäinen nimi oli Scutum Sobiescii, Sobieskin kilpi. Se oli annettu Puolan kuninkaan Juhana III Sobieskin (1624—96) kunniaksi.

Sextans, latinaa, Sekstantti. Tämä nimi oli alkuun Sextans Uraniae. Se oli annettu J. Heveliuksen vuosina 1658—79 käyttämään mittauskoneen muistoksi.

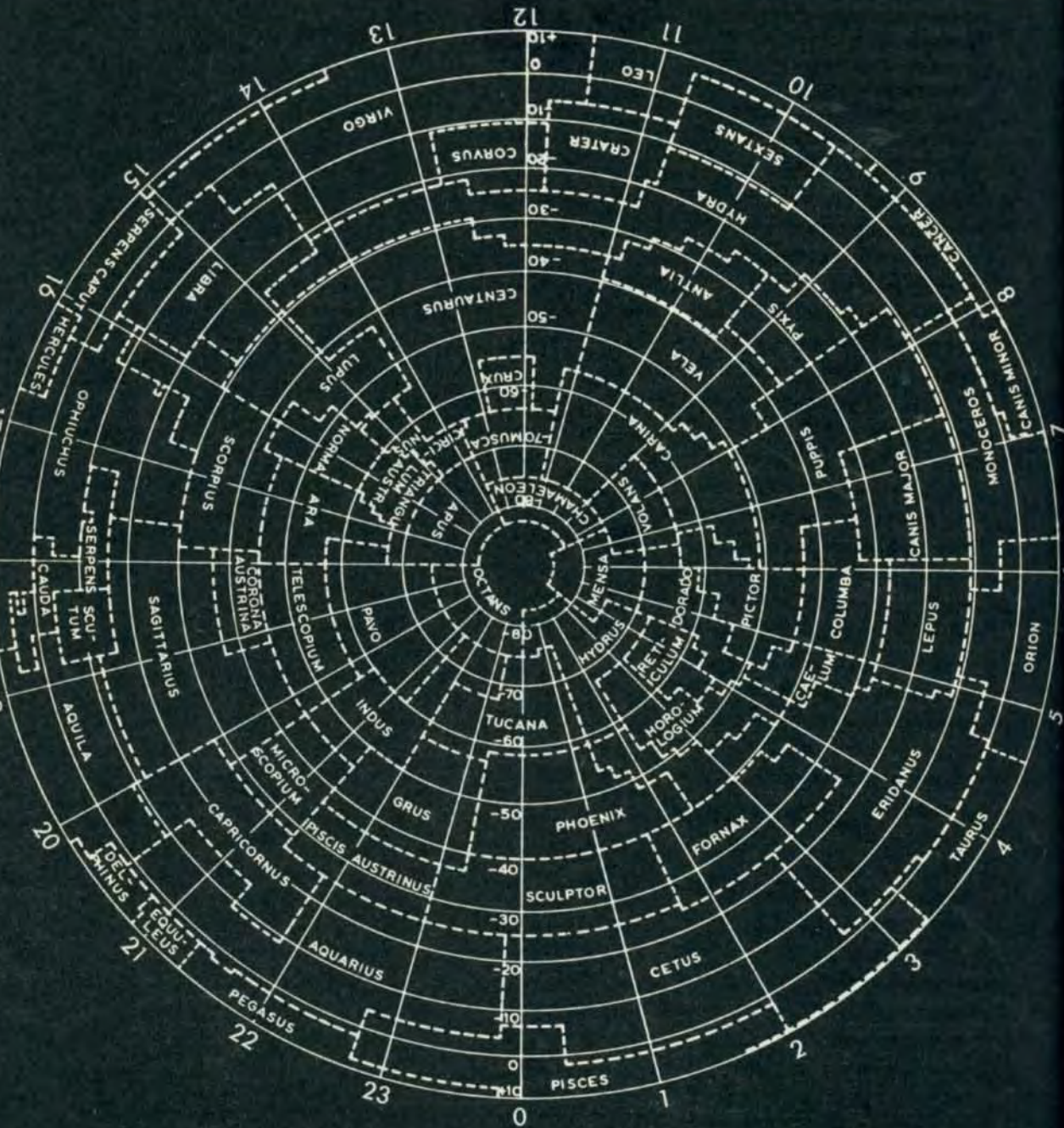
Vulpecula, latinaa, Kettu. Alun perin nimi oli Vulpecula cum ansere, Kettu hanhen kanssa.

Englannin ensimmäinen kuninkaallinen astronomi JOHN FLAMSTEED (1646—1719) julkaisi 1725 *Historia coelestis britannica*-teoksensa, jossa edellisiin tähtiluetteloihin pohjautuen ilmoitettiin 2884 tähden koordinaatit. Tämä FLAMSTEEDIN brittiläinen luettelo sisälsi Euroopassa paljain silmin näkyvät tähdet, mitkä kussakin tähdistössä oli numeroitu rektasension mukaan. Näin ollen Vega, joka BAYERIN järjestelmässä on  $\alpha$  Lyrae, on 3 Lyrae FLAMSTEEDIN luettelossa. Tähän FLAMSTEEDIN luetteloon perustuen 1729 julkaistiin *Atlas coelesti*, tähtikartta, joka edellä mainitun luettelon ohella on edistänyt tähtitaivaan karttoittamista.

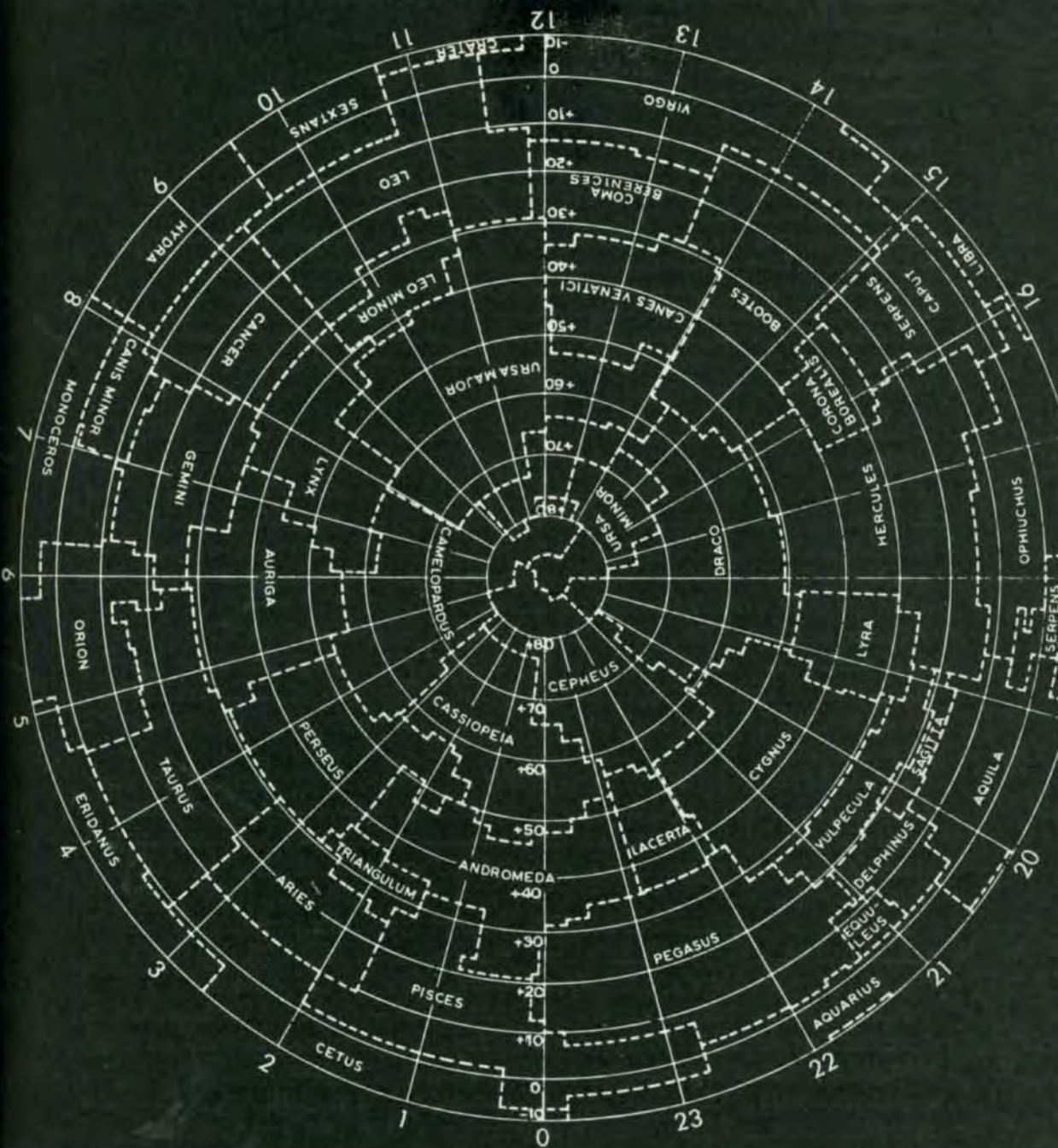
Vasta niin myöhään kuin 18:nneen vuosisadan puolivälissä ranskalainen tähtitieteilijä NICOLAS LOUIS DE LA CAILLE (1713—60) työskennellessään 1740—54 Hyvännäköniemessä jakoi laajan alueen eteläistä taivasta tähdistöiksi, joille hän antoi niiden nimet 1752 — — suomalaisen romanistin O. TUULION ja englantilaisen amatööri-astronomin P. MOOREN mu-



Osa vanhaa tähtikartastoa, jossa näkyy süvekäs Pegasus-ratsu, Etiopian kuningas Cepheus, kuningatar Cassiopeia ja näiden tytär Andromeda. Perseuksen käsissä Medusan, käärmetukkaisen hirviön, pää. Eläinradasta näkyy Pisces ja Aries, Leo ja Virgo. Egyptin kuningattaren Bereniken hiukset, Bootes, Corona septentrionalis, Draco ja Cygnus, Ursa minor ja Ursa major sekä Kirahvi näkyvät taivaan pohjoisnavan läheisyydessä.



Taivaanpallon eteläinen puolisko.



Taivaanpallon pohjoinen puolisko. Katkoviivat ovat tähdistöjen rajoja.

kaan. Mutta J. S. PICKERINGIN mukaan ne otettiin käyttöön 1763. Pariisilaisessa julkaisussa ne mainitaan 1776.

Antlia, kreikkaa, Ilmapumppu. Alun perin se oli Antlia pneumatica.

Caelum, latinaa, Veistotalta. Alkuaan se oli Caela sculptoris.

Circinus, latinaa, Harppi.

Fornax, latinaa, Sulatusuuni. Alkuperäinen nimi oli Fornax chemica, Kemiällinen uuni.

Horologium, latinaa, kreikaksi Horologion, Kello.

Mensa, latinaa, Pöytä. Havaintopaikan muistoksi se oli Mons mensae, Pöytävuori.

Microscopium, latinaa, Mikroskooppi.

Norma, latinaa. P. Mooren mukaan vanha nimi oli Quadra Euclidis, Eukleideen nelikulmio.

Octans, latinaa, Oktantti. Alun perin se oli Octans Hadleianus, John Hadleyn oktantti.

Pictor, latinaa, Maalari. Alkuaan se oli Equuleus pictoris, Maalarin maalausteline.

Pyxis, latinaa, Kompassi. Ensimmäinen se oli Pyxis nautica, Laivakompassi.

Reticulum, latinaa, Verkko. Alkuaan se oli Reticulum rhomboidalis, Vinokaitteen muotoinen verkko.

Sculptor, latinaa, Kuvanveistäjä. Ensimmäinen se oli Apparatus sculptoris, Kuvanveistäjän työväline.

Telescopium, latinaa, Teleskooppi.

Kuinka vaikea on päästä selville näistä tähdistöjen nimiasioista, osoittaa se seikka, kun saa kuulla sen, että esimerkiksi Etelän ristin (Crux, Crux australis) on nimennyt O. TUULION mukaan J. BAYER 1603, J. S. PICKERINGIN ja P. MOOREN mukaan 1679 A. ROYER sekä THOMASIN mukaan joku kolmas henkilö. Ranskalainen AUGUSTINE ROYER julkaisi 1679 tähtikarttansa *Cartes du ciel* — neljä karttaa. Mutta Etelän risti, jonka J. BAYER on piirtänyt tähtikarttaansa, on jo esitetty 1225 jKr. arabialaisessa tähtipallossa.

Tähän saakka tähdistöillä ei ollut tarkkoja rajoja, joten oli tullut ajankohtaiseksi piirtää ne. Siksipä saksalainen tähtitieteilijä JOHANN ELERT BODE (1747—1826), joka oli Berliinin tähtitornin johtaja vuodesta 1786, piirsi ensimmäiset rajat eri tähdistöille, vaikka niitä ei tietenkään pidetty yhteisesti sovittuina eikä muita sitovina.

BODE oli tyhjiin paikkojen täytteeksi lisännyt taivaalle 33 eläintä, joihin ranskalainen J. J. LALANDE (1732—1807) lisäsi kissan, koska hän oli niiden ystävä.

Tähdistöjen rajojen epätarkkuudesta voidaan mainita valaisevana seikkana, että esimerkiksi  $\alpha$  Andromedae on sama kuin  $\delta$  Pegasi. Niin ikään  $\beta$  Tauri on yhtä kuin  $\gamma$  Aurigae.

Saksalais-suomalainen tähtitieteilijä FRIEDRICH ARGELANDER (1799—1875) vakiinnutti 1843 pohjoisen tähtitaivaan tähdistöjen nimistön. Viimeinen kuvallinen tähti-atlas oli ARGELANDERIN 1843 ilmestynyt *Uranographia nova*.

Amerikkalainen tähtitieteilijä B. A. GOULD (1824—96) perusti Córdobaan observatorion Argentiinaan. Siellä hän vakiinnutti eteläisen taivaan tähdistöjen nimet 1879 ilmestyneessä tähtiluettelossaan *Uranometria Argentina*.

Nykyään tähden tieteellinen nimi ilmaistaan, niin kuin J. BAYER jo aikoinaan menetteli, kreikan kielen pienellä kirjaimella ja tähdistön genetiivimuotoisella latinankielisellä nimellä. Näin ollen aakkosjärjestystä seuraten esimerkiksi Oinaan eli Aries-tähdistön kirkkain tähti on  $\alpha$  Arietis. Seuraava on  $\beta$  Arietis, jonka arabialaisperäinen nimi on Scheratan. Kolmanneksi kirkkain on  $\gamma$  Arietis. Mutta

yleisestä tavasta poikkeavasti on Otavan tähdet aakkostettu sijaintinsa eikä kirkkausjärjestyksensä mukaan.

Jos tähdelle ei ole annettu kreikkalaista kirjainta, niin silloin käytetään J. FLAMSTEEDIN numeroita. Voidaan mainita, että esimerkiksi  $\beta$  Orionis, jonka arabialainen lisänimi on Rigel, on 19 Orionis FLAMSTEEDIN luettelossa. Ilveksen, jonka latinalainen nimi on Lynx, useimmat näkyvät tähdet on numeroitu, esimerkiksi 2 Lyncis.

Monella tähdellä on lisänimi. Toisilla niitä on parikin, jopa joillakin useita. Niitä on niille annettu eri aikoina ja eri tahoilla. Varsinkin arabialaiset ovat nimiä sirotelleet tähdille, niin kuin edellä olleesta parista esimerkistä voi huomata.

On jo käynyt ilmi, että myöhemminä aikoina laajoista ja epämääräisistä tähdistöistä on muodostettu aivan uusia konstellatioita. Argo navis on jaettu ja Centaurus-tähdistöistä on erotettu osia, esimerkiksi Crux. Muutama näistä uusista nimistä ei ole juurtunut yleiseen käyttöön, joten jokin niistä on hylätty. Kreikkalaisilla Argo-laivan masto oli Malus, mutta nyt se on Pyxis. Kömpelöt ja pitkät nimet on lyhennetty ja muutettu mukavampaan muotoon.

Vuonna 1930 Union Astronomique Internationale vahvisti tähdistöjen rajat rektasensio- ja deklinaatioympyröiden kaaria myöten vuoden 1875 epookin mukaan.

Tähtitaivas on jaettu tähdistöihin, joita nykyään on 88. Kullakin tähdistöllä on latinankielinen tieteellinen nimi, joka saattaa pohjautua kreikkalaiseen taruun. Sellainen on Orion. Mutta tähdistöllä tai sen osalla voi myös olla suomenkielinen nimi. Iso karhu on laaja tähdistö, mutta Otava on siitä vain sen seitsen-tähtinen olennainen ja silmään pistävä osa. Seulaset, joiden kreikkalaisperäinen nimi on Plejadit, on silmään pistävä tähtisikermä, avonainen tähtiparvi, Härässä, laajassa Taurus-tähdistöissä.

## Tähdistöt

Tähdistölle nimen antaneen henkilön merkki

(P = Ptolemaios, Br = Brahe, K = Keyzer, B = Bayer, Bs = Bartsch, H = Hevelius, L = de La Caille, R = Royer).

Kussakin tähdistöissä paljain silmin näkyvien tähtien lukumäärä näennäiseen kirkkauteen 5,5 saakka mainitaan viidennessä sarakkeessa.

Kansainv. nimi	Lyhen- nys	Suomal. nimi	Nimen- antaja	Tähtien määrä	Näennäinen kirkkaus	Kirkkain tähti ja sen lisänimi
Andromeda	And	Andromeda	P	50	+2,1	<i>a</i> Andromedae, Sirrah, Alpheratz
Antlia	Ant	Ilmapumppu	L	7	+4,4	<i>a</i> Antliae
Apus	Aps	Paratiisilintu	B, K	7	+3,8	<i>a</i> Apodis
Aquarius	Aqr	Vesimies	P	51	+2,9	<i>β</i> Aquarii
Aquila	Aql	Kotka	P	45	+0,8	<i>a</i> Aquilae, Altair
Ara	Ara	Alttari	P	15	+2,9	<i>β</i> Arae
Aries	Ari	Oinas	P	25	+2,0	<i>a</i> Arietis, Hamal
Auriga	Aur	Ajomies	P	44	+0,1	<i>a</i> Aurigae, Capella
Bootes	Boo	Karhunvartija	P	50	-0,1	<i>a</i> Bootis, Arcturus
Caelum	Cae	Veistotaltta	L	4	+4,5	<i>a</i> Caeli
Camelopardus	Cam	Kirahvi	Bs, H	36	+4,2	<i>β</i> Camelopardi, Camelopardali
Camelopardalus	Cam	Kirahvi	Bs, H	36	+4,2	<i>β</i> Camelopardi, Camelopardali
Cancer	Cnc	Krapu	P	18	+3,8	<i>β</i> Cancri
Canes venatici	CVn	Ajokoirat	H	13	+2,9	<i>a</i> Canum venaticorum, Cor Caroli
Canis major	CMa	Iso koira	P	52	-1,4	<i>a</i> Canis majoris, Sirius
Canis minor	CMi	Pieni koira	P	12	+0,4	<i>a</i> Canis minoris, Procyon
Capricornus	Cap	Kauris	P	31	+3,0	<i>δ</i> Capricorni
Carina	Car	Köli	—	73	-0,7	<i>a</i> Carinae, Canopus
Cassiopeia	Cas	Kassiopeia	P	51	+2,1	<i>γ</i> Cassiopeiae
Centaurus	Cen	Kentauri	P	94	-0,3	<i>a</i> Centauri, Rigil Kentaurus
Cepheus	Cep	Kefeus	P	47	+2,6	<i>a</i> Cephei, Alderamin
Cetus	Cet	Valas	P	46	+2,2	<i>β</i> Ceti, Diphda
Chamaeleon	Cha	Kameleontti	B, K	11	+4,1	<i>a</i> Chamaeleontis
Circinus	Cir	Harppi	L	10	+3,2	<i>a</i> Circini
Columba	Col	Kyyhky	B, R	21	+2,6	<i>a</i> Columbae
Coma Berenices	Com	Bereniken hiukset	Br	23	+4,3	<i>β</i> Comae Berenicis
Corona australis	CrA	Etelän kruunu	P	19	+4,1	<i>a</i> Coronae australis
Corona borealis	CrB	Pohjan kruunu	P	18	+2,3	<i>a</i> Coronae borealis, Gemma, Alphecca
Corvus	Crv	Korppi	P	11	+2,7	<i>β</i> Corvi
Crater	Crt	Malja	P	9	+3,8	<i>δ</i> Crateris
Crux	Cru	Etelän risti	B, R	16	+0,9	<i>a</i> Crucis
Cygnus	Cyg	Joutsen	P	79	+1,3	<i>a</i> Cygni, Deneb
Delphinus	Del	Delfiini	P	11	+3,7	<i>β</i> Delphini
Dorado	Dor	Kultakala	B, K	15	+3,3	<i>a</i> Doradus
Draco	Dra	Lohikäärme	P	69	+2,2	<i>γ</i> Draconis, Eltanin
Equuleus	Equ	Pieni hevonen	P	5	+4,1	<i>a</i> Equlei
Eridanus	Eri	Eridanus	P	74	+0,5	<i>a</i> Eridani, Achernar
Fornax	For	Sulatusuuni	L	11	+4,0	<i>a</i> Fornacis
Gemini	Gem	Kaksoset	P	42	+1,2	<i>β</i> Geminorum, Pollux
Grus	Gru	Kurki	B, K	21	+1,8	<i>a</i> Gruis
Hercules	Her	Herkules	P	74	+2,8	<i>β</i> Herculis
Horologium	Hor	Kello	L	10	+3,8	<i>a</i> Horologii
Hydra	Hya	Vesikäärme	P	68	+2,0	<i>a</i> Hydrae, Alphard
Hydrus	Hyi	Etelän vesikäärme	B, K	14	+2,8	<i>β</i> Hydri
Indus	Ind	Intiaani	B, K	11	+3,1	<i>a</i> Indi
Lacerta	Lac	Sisilisko	H	23	+3,8	<i>a</i> Lacertae

Kansainv. nimi	Lyhen- nys	Suomal. nimi	Nimen- antaja	Tähtien määrä	Näennäinen kirkkaus	Kirkkain tähti ja sen lisänimi
Leo	Leo	Leijona, Jalopeura	P	44	+1,4	<i>a</i> Leonis, Regulus
Leo minor	LMi	Pieni Leijona	H	12	+3,9	<i>46</i> Leonis minoris
Lepus	Lep	Jänis	P	27	+2,7	<i>a</i> Leporis
Libra	Lib	Vaaka	P	27	+2,6	<i>β</i> Librae
Lupus	Lup	Susi	P	48	+2,7	<i>β</i> Lupi
Lynx	Lyn	Ilves	H	29	+3,2	<i>a</i> Lynxis
Lyra	Lyr	Lyra	P	26	+0,0	<i>a</i> Lyrae, Vega, Vega
Mensa	Men	Pöytä	L	6	+5,1	<i>a</i> Mensae
Microscopium	Mic	Mikroskooppi	L	12	+4,7	<i>γ</i> Microscopii
Monoceros	Mon	Yksisarvinen	Bs, H	32	+3,9	<i>β</i> Monocerotis
Musca	Mus	Kärpänen	K, B	17	+2,7	<i>a</i> Muscae
Norma	Nor	Norma	L	13	+4,1	<i>γ</i> Normae
Octans	Oct	Oktantti	L	14	+3,7	<i>ν</i> Octantis
Ophiuchus	Oph	Käärmeenkantaja	P	50	+2,1	<i>a</i> Ophiuchi, Ras Alhague
Orion	Ori	Orion	P	73	+0,2	<i>β</i> Orionis, Rigel
Pavo	Pav	Riikinkukko	B, K	28	+2,0	<i>a</i> Pavonis
Pegasus	Peg	Pegasus	P	53	+2,3	<i>ε</i> Pegasi, Enif
Perseus	Per	Perseus	P	60	+1,8	<i>a</i> Persei, Mirfak
Phoenix	Phe	Feeniks	B, K	28	+2,4	<i>a</i> Phoenixis, Ankaa
Pictor	Pic	Maalari	L	15	+3,3	<i>a</i> Pictoris
Pisces	Psc	Kalat	P	37	+3,7	<i>η</i> Piscium
Piscis australis	PsA	Etelän kala	P	15	+1,2	<i>a</i> Piscis australis, Fomalhaut
Puppis	Pup	Peräkeula	—	95	+2,2	<i>ζ</i> Puppis
Pyxis	Pyx	Kompassi	L	12	+3,7	<i>a</i> Pyxidis
Reticulum	Ret	Verkko	L	11	+3,3	<i>a</i> Reticuli
Sagitta	Sge	Nuoli	P	7	+3,7	<i>γ</i> Sagittae
Sagittarius	Sgr	Jousimies	P	62	+1,8	<i>ε</i> Sagittarii, Kans Australis
Scorpius	Sco	Skorpioni	P	59	+1,0	<i>a</i> Scorpii, Antares
Sculptor	Scl	Kuvanveistäjä	L	14	+4,4	<i>a</i> Sculptoris
Scutum	Sct	Kilpi	H	9	+4,1	<i>a</i> Scuti
Serpens	Ser	Käärme	P	31	+2,7	<i>a</i> Serpentis
Sextans	Sex	Sekstantti	H	5	+4,5	<i>a</i> Sextantis
Taurus	Tau	Härkä	P	92	+0,9	<i>a</i> Tauri, Aldebaran
Telescopium	Tel	Kaukoputki	L	16	+3,8	<i>a</i> Telescopii
Triangulum	Tri	Kolmio	P	11	+3,0	<i>β</i> Trianguli
Triangulum australe	TrA	Etelän kolmio	K, B	11	+1,9	<i>a</i> Trianguli australis, Atria
Tucana	Tuc	Tukaani	B, K	15	+2,9	<i>a</i> Tucanae
Ursa major	UMa	Iso karhu	P	64	+1,8	<i>ε</i> Ursae majoris, Alioth
Ursa minor	UMi	Pieni karhu	P	16	+2,0	<i>a</i> Ursae minoris, Polaris, Pohjantähti
Vela	Vel	Purje, Purjeisto	—	72	+1,8	<i>γ</i> Velorum
Virgo	Vir	Neitsyt	P	52	+1,0	<i>a</i> Virginis, Spica
Volans	Vol	Lentokala	K, B	13	+3,6	<i>β</i> Volentis
Vulpecula	Vul	Kettu	H	27	+4,5	<i>13</i> Vulpeculae

Tähdistöjen pinta-ala (suuruusjärjestyksessä, yksikkönä neliöaste)

Hydra	1302,9	Grus	365,5
Virgo	1294,4	Lupus	333,7
Ursa major	1279,7	Sextans	313,5
Cetus	1231,4	Tucana	294,6
Hercules	1225,1	Indus	294,0
Eridanus	1137,9	Octans	291,0
Pegasus	1120,8	Lepus	290,3
Draco	1083,0	Lyra	286,5
Centaurus	1060,4	Crater	282,4
Aquarius	979,8	Columba	270,2
Ophiuchus	948,3	Vulpecula	268,2
Leo	947,0	Ursa minor	255,9
Bootes	906,8	Telescopium	251,5
Pisces	889,4	Horologium	248,9
Sagittarius	867,4	Pictor	246,7
Cygnus	804,0	Piscis austrinus	245,4
Taurus	797,2	Hydrus	243,0
Camelopardalus	756,8	Antlia	238,9
Andromeda	722,3	Ara	237,0
Puppis	673,4	Leo minor	232,0
Auriga	657,4	Pyxis	220,8
Aquila	652,5	Microscopium	209,5
Serpens	636,9	Apus	206,3
Perseus	615,0	Lacerta	200,7
Cassiopeia	598,4	Delphinus	188,6
Orion	594,1	Corvus	183,8
Cepheus	587,8	Canis minor	183,4
Lynx	545,4	Dorado	179,2
Libra	538,1	Corona borealis	178,7
Gemini	513,8	Norma	165,3
Cancer	505,9	Mensa	153,5
Vela	499,6	Volans	141,4
Scorpius	496,8	Musca	138,4
Carina	494,2	Triangulum	131,8
Monoceros	481,6	Chamaeleon	131,6
Sculptor	474,8	Corona austrina	127,7
Phoenix	469,3	Caelum	124,9
Canes venatici	465,2	Reticulum	113,9
Aries	441,4	Triangulum australe	110,0
Capricornus	413,9	Scutum	109,1
Fornax	397,5	Circinus	93,4
Coma Berenices	386,5	Sagitta	79,9
Canis major	380,1	Equuleus	71,6
Pavo	377,7	Crux	68,4

## TEKOKUUTAULUKKO

Kirj. BÖRJE HJELM

Sarakkeet:

- 1 *Tieteellinen nimi.* (Vuoden 1963 alusta uusi järjestelmä).
- 2 *Nimi.* Huomautettakoon, että vuoden 1962 alusta eivät Yhdysvaltain viranomaiset ilmoita yksityiskohtia sotilaallisista tekokuistaan Discoverer, Midas, Samos, Transit ja Scout, mutta tekokuutyypin voi melko suurella varmuudella määrittellä käytetyn kantoraketin ja saavutetun radan perusteella. Samoin ovat venäläiset salaiset tekokuut vaikeasti määriteltävissä, otaksuttavasti ne ovat matalalle kiertoradalle jääneitä epäonnistuneita kuu- ja planeettatutkaimia.
- 3 *Lähtöpäivämäärä.* Lähtövuosi ilmenee tieteellisestä nimestä.
- 4 *Laskeutumis- ja tuhoutumispäivämäärä tai arvioitu elinikä.*
- 5 *Radan kaltevuus asteissa.* Mitataan päiväntasaajasta idästä pohjoisen kautta. Yli 90 ° ratakaltevuudet ovat siten mahdolliset: nämä tekokuut kiertävät vastapäivään.
- 6 *Kiertoaika minuuteissa.*
- 7 *Rataellipsin suurakselin puolikkaan pituus kilometreissä.*
- 8 *Perigeumkorkeus kilometreissä.* Kiertoradan alimman pisteen korkeus maan pinnasta.
- 9 *Apogeeumkorkeus kilometreissä.* Kiertoradan ylimmän pisteen korkeus maan pinnasta.
- 10 *Radan epäkeskeisyys.*
- 11 *x = havaittu Suomessa.* Tekokuusta on tehty tieteellisiä havaintoja Jokioisten ilmatieteellisellä observatoriolla.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1957 $\alpha$ 1	Rakettivaihe	4. 10	1. 12. 57	65,1	96,2	6955	215	939	0,052	x
$\alpha$ 2	Sputnik 1	4. 10	4. 1. 58?	65,1	96,2	6955	215	939	0,052	
$\alpha$ 3	Osa	4. 10	?							
1957 $\beta$ 1	Sputnik 2	3. 11	14. 4. 58	65,33	103,75	7314	212	1660	0,099	x
$\beta$ 2	Osa	3. 11	?							
1958 $\alpha$	Explorer 1	1. 2	10 v	33,24	114,8	7830	356	2548	0,140	
1958 $\beta$ 1	Rakettivaihe	17. 3	300 v	34,25	138,50	8872	649	4340	0,208	
$\beta$ 2	Vanguard 1	17. 3	300 v	34,25	134,18	8688	650	3968	0,191	
1958 $\gamma$	Explorer 3	26. 3	28. 6. 58	33,38	115,7	7871	186	2799	0,166	
1958 $\delta$ 1	Rakettivaihe	15. 5	3. 12. 58	65,18	105,9	7415	214	1860	0,111	x
$\delta$ 2	Sputnik 3	15. 5	6. 4. 60	65,18	105,97	7418	217	1864	0,111	x
$\delta$ 3	Osa	15. 5	?							
$\delta$ 4	Osa	15. 5	?							
$\delta$ 5	Osa	15. 5	?							
1958 $\epsilon$	Explorer 4	26. 7	23. 10. 59	50,3	110,18	7616	263	2213	0,128	
1958 $\zeta$	Atlas Score	18. 12	21. 1. 59	32,3	101,47	7213	185	1484	0,090	
1959 $\alpha$ 1	Vanguard 2	17. 2	150 v	32,88	125,7	8318	559	3320	0,166	
$\alpha$ 2	Rakettivaihe	17. 2	150 v	32,92	130,0	8506	563	3093	0,184	
1959 $\beta$	Discoverer 1	28. 2	5. 3. 59?	89,7?	96,?	6943	163	968	0,058	
1959 $\gamma$	Discoverer 2	13. 4	26. 4. 59	89,9	90,4	6671	239	346	0,008	
1959 $\delta$ 1	Explorer 6	7. 8	? 7. 61	47,0	765	27710	245	42400	0,761	
$\delta$ 2	Rakettivaihe	7. 8	? 7. 61							
1959 $\epsilon$ 1	Discoverer 5	13. 8	28. 9. 59	80,0	94,19	6856	217	739	0,038	x
$\epsilon$ 2	Paluukapseli	13. 8	11. 2. 61	78,94	104,27	7337	218	1700	0,101	
1959 $\zeta$	Discoverer 6	19. 8	20. 10. 59	84,0	95,27	6908	212	848	0,046	x
1959 $\eta$	Vanguard 3	18. 9	300 v	33,35	130,0	8506	512	3744	0,190	
1959 $\theta$	Lunik 3	4. 10	?	75	22300	262000	40700	471000	0,82	
1959 $\iota$ 1	Explorer 7	13. 10	70 v	50,31	101,28	7200	556	1088	0,037	
$\iota$ 2	Rakettivaihe	13. 10	30 v	50,30	101,25	7199	554	1087	0,037	
1959 $\kappa$	Discoverer 7	7. 11	26. 11. 59	81,64	94,70	6881	159	847	0,050	
1959 $\lambda$	Discoverer 8	20. 11	8. 3. 60	80,65	103,72	7311	187	1679	0,102	x
1960 $\beta$ 1	Rakettivaihe	1. 4	25 v	48,41	99,15	7099	699	750	0,004	
$\beta$ 2	Tiros 1	1. 4	60 v	48,4	99,16	7100	693	750	0,004	
$\beta$ 3	Osa	1. 4		48,46	97,9	7034	604	718	0,007	
$\beta$ 4	Osa	1. 4								
1960 $\gamma$ 1	Rakettivaihe	13. 4	18. 8. 61	51,25	95,25	6912	319	748	0,031	x
$\gamma$ 2	Transit 1B	13. 4	7 v	51,28	95,81	6939	373	748	0,027	
$\gamma$ 3	Koekuorma	13. 4	? 7. 60	51,3	94,78	6884	294	729	0,032	
$\gamma$ 4	Osa	13. 4		51,20	96,8	6984	470	752	0,020	
1960 $\delta$	Discoverer 11	15. 4	26. 4. 60	80,1	92,16	6757	170	589	0,031	x
1960 $\epsilon$ 1	Sputnik 4	15. 5	5. 9. 62	65,02	94,25	6861	290	675	0,028	x
$\epsilon$ 2	Rakettivaihe	15. 5	17. 7. 60	64,89	91,25	6714	318	355	0,002	
$\epsilon$ 3	Paluukapseli	15. 5	5 v	65,0	94,27	6862	278	689	0,030	x
$\epsilon$ 4	Osa	15. 5	? 6. 61	64,9	94,28	6856	290	678	0,028	
$\epsilon$ 5	Osa	15. 5	? 9. 60	64,9	94,32	6858	292	680	0,028	
$\epsilon$ 6	Osa	15. 5	? 9. 60	64,9	94,36	6859	286	689	0,030	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\epsilon$ 7	Osa	15. 5	24. 9. 60	64,9	94,38	6859	290	679	0,029	
$\epsilon$ 8	Osa	15. 5	? 9. 60	64,9	94,40	6859	290	679	0,029	
$\epsilon$ 9	Osa	15. 5	? 10. 60	64,7	94,41	6859	280	698	0,031	
1960 $\zeta$ 1	Midas 2	24. 5	20 v	33,0	94,44	6876	484	511	0,002	
$\zeta$ 2	Kärkikartio	24. 5	5. 12. 60	33,00	94,44	6876	484	511	0,002	
1960 $\eta$ 1	Transit 2A	22. 6	150 v	66,69	101,66	7216	628	1047	0,029	x
$\eta$ 2	Greb 1	22. 6	80 v	66,69	101,66	7216	614	1061	0,031	x
$\eta$ 3	Rakettivaihe	22. 6	80 v	66,7	101,37	7202	615	1032	0,029	x
$\eta$ 4	Osa	22. 6	?							
$\eta$ 5	Osa	22. 6	?							
1960 $\theta$	Discoverer 13	10. 8	14. 11. 60	82,85	94,04	6849	258	683	0,031	x
1960 $\iota$ 1	Echo 1	12. 8	7 v	47,22	118,22	7982	1524	1684	0,010	x
$\iota$ 2	Rakettivaihe	12. 8	20000 v	47,23	117,98	7972	1502	1685	0,012	
$\iota$ 3	Osa	12. 8	?	47,20	118,16	7972	1513	1687	0,011	
$\iota$ 4	Osa	12. 8	?	47,37	118,2	7976	1527	1680	0,012	
$\iota$ 5	Osa	12. 8	?	47,20	118,3	7982	1511	1697	0,012	
1960 $\kappa$	Discoverer 14	18. 8	16. 9. 60	79,65	94,55	6874	186	805	0,045	
1960 $\lambda$ 1	Sputnik 5	19. 8	20. 8. 60	64,95	90,72	6688	297	324	0,002	
$\lambda$ 2	Rakettivaihe	19. 8	23. 9. 60	64,9	90,7	6687	296	323	0,002	
1960 $\mu$	Discoverer 15	13. 9	18. 10. 60	80,90	94,23	6858	199	761	0,041	
1960 $\nu$ 1	Courier 1B	4. 10	1000 v	28,33	106,85	7465	938	1237	0,020	
$\nu$ 2	Rakettivaihe	4. 10	500 v	28,30	106,38	7444	946	1184	0,016	x
1960 $\xi$ 1	Explorer 8	3. 11	60 v	49,95	112,69	7731	417	2288	0,121	x
$\xi$ 2	Rakettivaihe	3. 11	30 v	49,96	112,68	7731	417	2288	0,121	x
$\xi$ 3	Osa	3. 11	?	49,4	111,6	7674	400	2203	0,117	
$\xi$ 4	Osa	3. 11	?							
1960 $\omicron$	Discoverer 17	12. 11	29. 12. 60	81,70	96,45	6965	190	984	0,057	
1960 $\pi$ 1	Tiros 2	23. 11	60 v	48,5	98,20	7054	619	732	0,008	x
$\pi$ 2	Rakettivaihe	23. 11	30 v	48,57	98,14	7051	609	736	0,009	
$\pi$ 3	Osa	23. 11	?	48,5	98,13	7045	611	731	0,009	
$\pi$ 4	Osa	23. 11	?	48,57	98,3	7053	616	743	0,009	
1960 $\rho$ 1	Sputnik 6	1. 12	2. 12. 60	64,97	88,47	6577	166	232	0,005	
$\rho$ 2	Rakettivaihe	2. 12	2. 12. 60	65,00	88,47	6577	166	232	0,005	
1960 $\sigma$	Discoverer 18	7. 12	2. 4. 61	81,50	93,66	6830	243	661	0,031	x
1960 $\tau$	Discoverer 19	20. 12	23. 1. 61	83,40	93,00	6798	209	631	0,031	
1961 $\alpha$ 1	Samos 2	31. 1	12 v	97,40	94,97	6894	474	557	0,006	x
$\alpha$ 2	Kärkikartio	31. 1	10 v	97,40	94,97	6886	476	552	0,006	x
1961 $\beta$ 1	Sputnik 7	4. 2	26. 2. 61	64,95	89,8	6643	212	318	0,008	x
$\beta$ 2	Rakettivaihe	4. 2	13. 2. 61	64,95	89,8	6643	212	318	0,008	x
$\beta$ 3	Osa	4. 2	17. 3. 61	64,89	90,2	6659	232	340	0,008	x
1961 $\gamma$ 2	Venik raketti	12. 2	18. 2. 61	65,0	89,2	6614	196	275	0,006	x
$\gamma$ 3	Osa	12. 2	25. 2. 61	65,0	89,6	6633	229	282	0,004	
$\gamma$ 4	Osa	12. 2	16. 2. 61	65,0	89,2	6614	197	275	0,006	
1961 $\delta$ 1	Explorer 9	16. 2	9. 4. 64	38,86	118,28	7986	634	2583	0,122	x
$\delta$ 2	Rakettivaihe	16. 2	100 v	38,85	118,4	7992	639	2589	0,122	
$\delta$ 3	Osa	16. 2	? 61	38,87	118,1	7971	641	2555	0,120	
$\delta$ 4	Osa	16. 2	?							
1961 $\epsilon$ 1	Discoverer 20	17. 2	28. 7. 62	80,91	95,41	6915	288	786	0,036	x



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\epsilon$ 2	Osa	17. 2	2. 4. 61	80,9	93,2	6792	173	559	0,021	
$\epsilon$ 3	Osa	17. 2	20. 4. 61	80,9	94,0	6842	173	653	0,027	
$\epsilon$ 4	Osa	17. 2	? 9. 61	80,91	96,44	6959	168	775	0,027	
1961 $\zeta$	Discoverer 21	18. 2	20. 4. 62	80,74	97,85	7033	168	1069	0,059	x
1961 $\eta$	Transit 3B	22. 2	30. 3. 61	28,38	96,22	6963	164	1002	0,060	
1961 $\theta$ 1	Sputnik 9	9. 3	9. 3. 61	64,93	88,6	6584	140	239	0,005	
$\theta$ 2	Rakettivaihe	9. 3	10. 3. 61	64,9	88,2	6564	167	199	0,002	
$\theta$ 3	Osa	9. 3	10. 3. 61	64,9	88,0	6546	221	177	0,001	
$\theta$ 4	Osa	9. 3	10. 3. 61	64,9	88,0	6546	295	176	0,001	
1961 $\iota$ 1	Sputnik 10	25. 3	25. 3. 61	64,9	88,42	6575	208	230	0,005	
$\iota$ 2	Rakettivaihe	25. 3	26. 3. 61	65,0	87,8	6544	200	192	0,004	
$\iota$ 3	Osa	25. 3	26. 3. 61	65,0	88,5	6576	169	238	0,005	
1961 $\kappa$	Explorer 10	25. 3	?	33	501,3	97050	161	181100	0,932	
1961 $\lambda$ 1	Discoverer 23	8. 4	16. 4. 62	82,31	94,09	6851	487	651	0,026	x
$\lambda$ 2	Paluukapseli	8. 4	23. 5. 62	81,94	101,49	7206	222	1448	0,086	
$\lambda$ 3	Jarruraketit	8. 4	10. 9. 61	81,94	101,13	7189		1422	0,085	x
1961 $\mu$ 1	Vostok 1	12. 4	12. 4. 61	64,95	89,34	6620	881	315	0,011	
$\mu$ 2	Rakettivaihe	12. 4	16. 4. 61	65,07	89,3	6618	882	320	0,012	
1961 $\nu$	Explorer 11	27. 4	150 v	28,80	107,84	7512	278	1779	0,086	
1961 $\xi$ 1	Discoverer 25	16. 6	12. 7. 61	82,11	90,87	6694	284	409	0,014	
$\xi$ 2	Osa	16. 6	? 6. 61				395			
1961 $\omicron$ 1	Transit 4A	29. 6	600 v	66,81	103,82	7317	240	998	0,008	x
$\omicron$ 2	Greb 3/Injun 1	29. 6	900 v	66,82	103,85	7319	167	999	0,008	x
03 = 0206	Osa	29. 6	$\frac{1}{2}$ -100 v	66,8	(räjähtäneen rakettivaiheen osia)					
1961 $\pi$	Discoverer 26	7. 7	5. 12. 61	82,94	95,02	6896	228	808	0,042	x
1961 $\rho$ 1	Tiros 3	12. 7	100 v	47,90	100,33	7156	735	820	0,006	
$\rho$ 2	Rakettivaihe	12. 7	50 v	47,94	100,3	7154	740	812	0,005	
$\rho$ 3	Osa	12. 7	?	47,90	98,8	7077	703	705	0	
$\rho$ 4	Osa	12. 7	?	47,90	101,9	7226	737	972	0,016	
1961 $\sigma$ 1	Midas 3	12. 7	100000 v	91,2	161,54	9825	3358	3534	0,009	x
$\sigma$ 2	Kärkikartio	12. 7	25. 7. 61	90,80	117,25	7934	138	2974	0,179	
$\sigma$ 3	Osa	12. 7	?	91,17	161,2	9802	3353	3509	0,008	
$\sigma$ 4	Osa	12. 7	?	91,17	161,9	9832	3370	3546	0,009	
1961 $\tau$ 1	Vostok 2	6. 8	7. 8. 61	64,93	88,46	6577	166	232	0,005	
$\tau$ 2	Rakettivaihe	6. 8	9. 8. 61	64,93	88,46	6577	166	232	0,005	
1961 $\nu$	Explorer 12	16. 8	10 v	33,1	1591	45190	314	77310	0,852	
1961 $\varphi$ 1	Ranger 1	23. 8	30. 8. 61	32,9	90,64	6691	179	446	0,020	
$\varphi$ 2	Rakettivaihe	23. 8	3. 9. 61	32,93	90,17	6694	175	456	0,021	
1961 $\chi$	Explorer 13	25. 8	28. 8. 61	37,7	97,5	7023	125	1164	0,074	
1961 $\psi$	Discoverer 29	30. 8	9. 9. 61	82,14	91,51	6725	152	542	0,029	
1961 $\omega$ 1	Discoverer 30	12. 9	11. 12. 61	82,66	92,40	6762	235	546	0,023	x
$\omega$ 2	Osa	12. 9	18. 9. 61	rata tuntematon						
$\omega$ 3	Osa	12. 9	28. 9. 61	82,71	88,7	6581	206	210	0	
1961 $\alpha\alpha$ 1	Mercury MA-4	13. 9	13. 9. 61	32,8	88,4	6580	156	248	0,007	
$\alpha\alpha$ 2	Rakettivaihe	13. 9	13. 9. 61	32,85	87,3	6526	147	147	0	
1961 $\alpha\beta$	Discoverer 31	17. 9	26. 10. 61	82,70	90,86	6693	235	396	0,012	
1961 $\alpha\gamma$ 1	Discoverer 32	13. 10	13. 11. 61	81,69	90,84	6692	234	395	0,012	
$\alpha\gamma$ 2	Osa	13. 10	25. 10. 61	81,69	89,4	6614	234	248	0,001	
$\alpha\gamma$ 3	Osa	13. 10	16. 10. 61							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1961 $\alpha\delta$ 1	Midas 4	21. 10	100000 v	95,89	166,01	10004	3496	3756	0,013	x
$\alpha\delta$ 2	Kärkikartio	21. 10	? 12. 61							
$\alpha\delta$ 3	West Ford 1	21. 10	1000 v	95,87	165,6	9987	3503	3715	0,006	
$\alpha\delta$ 4	Osa	21. 10	?	95,90	166,4	10015	3521	3762	0,012	
1961 $\alpha\epsilon$ 1	Discoverer 34	5. 11	7. 12. 62	82,52	97,12	6998	227	1011	0,056	
$\alpha\epsilon$ 2	Osa	5. 11	30. 11. 61	82,46	92,4	6761	232	454	0,023	
$\alpha\epsilon$ 3	Osa	5. 11	10. 12. 61	82,42	94,9	6883	249	771	0,038	
$\alpha\epsilon$ 4	Osa	5. 11	18. 12. 61	82,50	94,5	6864	249	733	0,035	
$\alpha\epsilon$ 5	Osa	5. 11	? 12. 61	82,52	94,7	6874	226	774	0,040	
1961 $\alpha\zeta$ 1	Discoverer 35	15. 11	3. 12. 61	81,63	89,7	6636	238	278	0,003	
$\alpha\zeta$ 2	Osa	15. 11	23. 11. 61	81,53	88,6	6574	178	224	0,004	
1961 $\alpha\eta$ 1	Transit 4B	15. 11	1000 v	32,43	105,63	7408	956	1104	0,010	
$\alpha\eta$ 2	Traac 1	15. 11	800 v	32,43	105,64	7409	941	1119	0,012	
$\alpha\eta$ 3	Rakettivaihe	15. 11	500 v	32,41	105,49	7402	942	1105	0,011	
1961 $\alpha\theta$	Ranger 2	18. 11	20. 11. 61	33,34	88,28	6574	150	242	0,007	
1961 $\alpha\iota$ 1	Mercury MA-5	29. 11	29. 11. 61	32,6	88,3	6575	158	237	0,006	
$\alpha\iota$ 2	Rakettivaihe	29. 11	30. 11. 61	32,6	88,3	6575	158	237	0,006	
1961 $\alpha\kappa$ 1	Discoverer 36	12. 12	8. 3. 62	81,21	91,82	6741	241	484	0,018	
$\alpha\kappa$ 2	Oscar 1	12. 12	31. 1. 62	81,21	91,76	6738	245	474	0,017	
$\alpha\kappa$ 3	Osa	12. 12	20. 12. 61							
1961 $\alpha\lambda$ 1	Samos ?	22. 12	14. 8. 62	89,6	94,1	6851	244	702	0,033	
$\alpha\lambda$ 2	Osa	22. 12	31. 12. 61							
$\alpha\lambda$ 3	Osa	22. 12	9. 2. 62							
1962 $\beta$ 1	Tiros 4	8. 2	100 v	48,30	100,3	7154	712	840	0,009	
$\beta$ 2	Rakettivaihe	8. 2	50 v	48,13	101,4	7206	706	951	0,017	
$\beta$ 3	Osa	8. 2	?							
$\beta$ 4	Osa	8. 2	?							
1962 $\gamma$ 1	Mercury MA-6	20. 2	20. 2. 62	32,54	88,6	6590	159	265	0,008	
$\gamma$ 2	Rakettivaihe	20. 2	21. 2. 62	32,57	88,0	6560	156	208	0,004	
1962 $\delta$	Discoverer 37	21. 2	9. 3. 62	81,97	90,0	6649	167	374	0,016	
1962 $\epsilon$ 1	Discoverer 38	27. 2	21. 3. 62	82,23	90,04	6658	208	341	0,010	
$\epsilon$ 2	Osa	27. 2	2. 3. 62							
$\epsilon$ 3	Osa	27. 2	2. 3. 62							
$\epsilon$ 4	Osa	27. 2	7. 3. 62	82,23	95,41					
1962 $\zeta$ 1	OSO 1	7. 3	30 v	32,85	95,89	6942	556	570	0,001	
$\zeta$ 2	Rakettivaihe	7. 3	15 v	32,83	95,98	6950	544	600	0,004	
1962 $\eta$ 1	Samos ?	7. 3	7. 6. 63	90,89	93,9	6842	251	676	0,031	
$\eta$ 2	Kärkikartio ?	7. 3	31. 3. 62	90,85	90,3	6660	226	350	0,009	
$\eta$ 3	Jarruraketit ?	7. 3	3. 11. 62	90,87	93,3	6813	250	618	0,027	
1962 $\theta$ 1	Kosmos 1	16. 3	25. 5. 62	49,00	96,35	6904	204	967	0,055	
$\theta$ 2	Rakettivaihe	16. 3	18. 6. 62	48,98	96,10	6953	206	943	0,053	
1962 $\iota$ 1	Kosmos 2	6. 4	19. 8. 63	48,97	102,25	7246	202	1535	0,092	
$\iota$ 2	Rakettivaihe	6. 4	6. 10. 62	48,94	101,90	7230	215	1488	0,088	
1962 $\kappa$ 1	Midas ?	9. 4	100000 v	86,68	153,03	9476	2814	3382	0,030	x
$\kappa$ 2	Osa	9. 4	?							
$\kappa$ 3	Osa	9. 4	?							
$\kappa$ 4	Osa	9. 4	?							
1962 $\lambda$ 1	Discoverer ?	18. 4	28. 5. 62	73,48	90,9	6699	200	441	0,018	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
λ 2	Osa	18.4	?								
λ 3	Osa	18.4	?								
λ 4	Osa	18.4	?								
1962 v 1	Kosmos 3	24.4	17. 10. 62	48,99	93,8	6840	216	707	0,036		
v 2	Rakettivaihe	24.4	5. 8. 62	49,00	93,71	6837	220	699	0,035		
1962 ξ 1	Kosmos 4	26.4	29. 4. 62	65,00	90,6	6679	285	317	0,002		
ξ 2	Rakettivaihe	26.4	17. 6. 62	64,95	90,52	6679	287	314	0,002		
ξ 3	Osa	26.4	3. 5. 62	Rata tunteaton							
1962 o 1	Ariel 1	26.4	20 v	53,85	100,86	7180	389	1214	0,057	x	
o 2	Rakettivaihe	26.4	15 v	53,84	100,9	7182	394	1213	0,057		
1962 π	Samos ?	26.4	28. 4. 62	Rata tunteaton							
1962 ρ 1	Discoverer ?	28.4	26. 5. 62	73,11	91,1	6706	180	475	0,022		
ρ 2	Osa	28.4	1. 5. 62	Rata tunteaton							
1962 σ 1	Discoverer?	15.5	23. 11. 63	82,33	94,02	6848	305	634	0,024		
σ 2	Osa	15.5	3. 7. 62								
σ 3	Osa	15.5	13. 7. 62								
1962 τ 1	Mercury MA-7	24.5	24. 5. 62	32,5	88,5	6585	154	260	0,008		
τ 2	Rakettivaihe	24.5	25. 5. 62	32,5	88,5	6585	154	260	0,008		
1962 v 1	Kosmos 5	28.5	2. 5. 63	49,06	102,75	7267	190	1587	0,096		
v 2	Rakettivaihe	28.5	15. 12. 62	49,1	102,67	7266	205	1571	0,094		
1962 φ 1	Discoverer ?	30.5	11. 6. 62	74,10	89,7	6637	199	319	0,009		
φ 2	Osa	30.5	2. 6. 62								
1962 χ 1	Discoverer ?	2.6	28. 6. 62	74,26	90,5	6676	211	385	0,013		
χ 2	Oscar 2	2.6	21. 6. 62	74,27	90,55	6679	207	394	0,014		
χ 3	Osa	2.6	6. 6. 62								
1962 ψ	Samos?	17.6	18. 6. 62	Rata tunteaton							
1962 ω 1	Discoverer ?	18.6	30. 10. 63	82,14	92,4	6769	370	411	0,003		
ω 2	Osa	18.6	14. 7. 62								
ω 3	Osa	18.6	12. 7. 62								
1962 aa 1	Tiros 5	19.6	100 v	58,08	100,44	7159	588	974	0,027		
aa 2	Rakettivaihe	19.6	50 v	58,08	100,4	7157	586	972	0,027		
aa 3	Osa	19.6	?								
aa 4	Osa	19.6	?								
1962 ab	Discoverer ?	23.6	7. 7. 62	75,09	89,58	6631	213	293	0,006		
1962 ay	Discoverer ?	28.6	14. 9. 62	76,04	93,6	6828	211	689	0,035		
1962 ad 1	Kosmos 6	30.6	8. 9. 62	48,96	90,54	6683	264	344	0,006		
ad 2	Rakettivaihe	30.6	8. 8. 62	48,97	90,49	6680	262	342	0,006		
1962 ae 1	Telstar 1	10.7	10000 v	44,79	157,65	9670	952	5632	0,242		
ae 2	Rakettivaihe	10.7	3000 v	44,78	157,5	9664	947	5625	0,242		
1962 az 1	Samos ?	18.7	28. 7. 62	96,12	88,73	6588	184	236	0,004		
az 2	Osa	18.7	25. 7. 62								
1962 an	Discoverer ?	21.7	14. 8. 62	70,29	90,42	6673	208	381	0,013		
1962 a	Discoverer ?	28.7	24. 8. 62	71,09	90,64	6684	225	386	0,012		
1962 ai 1	Kosmos 7	28.7	1. 8. 62	64,95	90,08	6655	197	356	0,012		
ai 2	Rakettivaihe	28.7	21. 8. 62	64,96	90,00	6653	208	341	0,010		
ai 3	Osa	28.7	31. 7. 62								
ai 4	Osa	28.7	30. 7. 62								
1962 ax 1	Discoverer ?	2.8	26. 8. 62	82,25	90,77	6689	204	418	0,016		
ax 2	Osa	2.8	8. 8. 62								

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1962 aλ	Samos ?	5.8	6. 8. 62	96,30	88,62	6583	205	205	0	
1962 aμ 1	Vostok 3	11.8	15. 8. 62	64,98	88,33	6570	166	218	0,004	
aμ 2	Rakettivaihe	11.8	14. 8. 62	64,82	87,5	6529	151	151	0	
1962 av 1	Vostok 4	12.8	15. 8. 62	64,95	88,39	6573	169	222	0,004	
av 2	Rakettivaihe	12.8	14. 8. 62	64,80	88,38	6573	169	221	0,004	
1962 aξ 1	Kosmos 8	18.8	17. 8. 63	48,97	92,93	6799	244	598	0,026	
aξ 2	Rakettivaihe	18.8	19. 12. 62	48,98	92,92	6799	251	591	0,025	
1962 ao 1	Scout ?	23.8	20 v	98,66	99,62	7117	620	858	0,017	
ao 2	Osa	23.8	30 v	98,6	98,3					
ao 3	Osa	23.8	10 v	98,6	99,9					
ao 4	Rakettivaihe	23.8	20 v	98,68	99,6	7115	615	858	0,017	
1962 ap 1	Venik ?	25.8	28. 8. 62	64,88	88,73	6590	173	252	0,006	
ap 2	Rakettivaihe	25.8	2. 9. 62	64,89	89,38	6623	178	311	0,010	
ap 3	Osa	25.8	30. 8. 62							
ap 4	Osa	25.8	5. 9. 62							
ap 5	Osa	25.8	31. 8. 62							
ap 6	Osa	25.8	6. 9. 62							
ap 7	Osa	25.8	8. 9. 62							
ap 8	Osa	25.8	5. 9. 62							
1962 aq	Discoverer ?	29.8	10. 9. 62	65,21	90,38	6672	187	400	0,016	
1962 ar 1	Venik ?	1.9	6. 9. 62	65 ?	Rata tunteaton					
1962 ar 2	Osa	1.9	?							
1962 ar 3	Osa	1.9	?							
1962 ar 4	Osa	1.9	?							
1962 av	Discoverer ?	1.9	26. 10. 64	82,82	94,42	6863	300	669	0,027	
1962 ap 1	Venik ?	12.9	14. 9. 62	64,8	88	6554	176	176	0	
ap 2	Osa	12.9	?							
ap 3	Osa	12.9	?							
ap 4	Osa	12.9	?							
ap 5	Osa	12.9	?							
ap 6	Osa	12.9	?							
ap 7	Osa	12.9	?							
1962 ax	Discoverer ?	17.9	19. 11. 62	81,84	93,33	6814	204	668	0,034	
1962 ay 1	Tiros 6	18.9	50 v	58,32	98,73	7076	684	711	0,002	
ay 2	Rakettivaihe	18.9	25 v	58,29	98,7	7076	684	712	0,002	
ay 3	Osa	18.9	?	58,44	99,4	7099	681	778	0,006	
ay 4	Osa	18.9	?	58,19	98,4	7040	638	693	0,005	
1962 aw 1	Kosmos 9	27.9	1. 10. 62	65,0	90,9	6697	292	346	0,004	
aw 2	Rakettivaihe	27.9	22. 12. 62	65,0	90,9	6697	292	346	0,004	
aw 3	Osa	27.9	6. 10. 62							
aw 4	Osa	27.9	8. 10. 62							
aw 5	Osa	27.9	4. 10. 62							
aw 6	Osa	27.9	8. 10. 62							
aw 7	Osa	27.9	3. 10. 62							
aw 8	Osa	27.9	6. 10. 62							
1962 βa 1	Alouette 1	29.9	2000 v	80,46	105,52	7392	996	1032	0,002	x
βa 2	Rakettivaihe	29.9	2000 v	80,47	105,47	7393	1008	1023	0,001	x
βa 3	Osa	29.9	?							
βa 4	Osa	29.9	?							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1962 ββ	Discoverer ?	29. 9	14. 10. 62	65,40	90,30	6668	203	376	0,013		
1962 βγ 1	Explorer 14	2. 10	10 v	32,95	2185	55784	281	98530	0,881		
βγ 2	Rakettivaihe	2. 10	10 v	32,95	2185	55784	281	98530	0,881		
1962 βδ 1	Mercury MA-8	3. 10	3. 10. 62	32,55	88,75	6597	153	285	0,010		
βδ 2	Rakettivaihe	3. 10	4. 10. 62	32,55	88,67	6594	156	275	0,009		
1962 βε	Discoverer ?	9. 10	16. 11. 62	81,96	90,96	6698	213	427	0,016		
1962 βζ 1	Kosmos 10	17. 10	21. 10. 62	65,00	90,2	6660	197	367	0,013		
βζ 2	Rakettivaihe	17. 10	5. 11. 62	64,90	89,06	6606	196	260	0,005		
1962 βη 1	Kosmos 11	20. 10	18. 5. 64	48,97	95,95	6946	234	901	0,048		
βη 2	Rakettivaihe	20. 10	6. 6. 63	48,95	95,77	6937	233	885	0,047		
1962 βι 1	Marsik?	24. 10	29. 10. 62	Rata tuntematon							
βι βι 24 2	Osa	24. 10	?								
1962 βκ	Star-Rad 1	26. 10	4 1/2 v	71,41	147,87	9262	198	5570	0,290	x	
1962 βλ 1	Explorer 15	27. 10	100 v	18,02	315,20	15353	313	17640	0,564		
βλ 2	Rakettivaihe	27. 10	100 v								
1962 βμ 1	Anna 1B	31. 10	5000 v	50,14	107,84	7508	1077	1182	0,007		
βμ 2	Rakettivaihe	31. 10	2000 v	50,13	107,53	7492	1069	1159	0,006		
1962 βν 3	Mars 1 raketti	1. 11	2. 11. 62	65 ?	90 ?		200	300			
βν 4	Osa	1. 11	3. 11. 62								
1962 βξ 1	Marsik ?	4. 11	5. 11. 62								
βξ 2	Osa	4. 11	?								
βξ 3	Rakettivaihe	4. 11	19. 1. 63	64,7	94,42	6772	197	590	0,029		
βξ 4	Osa	4. 11	?								
βξ 5	Osa	4. 11	?								
1962 βο	Discoverer ?	5. 11	3. 12. 62	74,98	90,71	6687	208	409	0,015		
1962 βπ	Samos ?	11. 11	12. 11. 62	96,00	88,65	6584	206	206	0		
1962 βρ	Discoverer ?	24. 11	13. 12. 62	65,14	89,92	6649	204	337	0,010		
1962 βσ	Discoverer ?	4. 12	8. 12. 62	65,1	89,16	6612	194	273	0,006		
1962 βτ 1	Discoverer ?	13. 12	4 v	70,36	116,26	7887	231	2786	0,162		
βτ 2	Injun 3	13. 12	7 v	70,38	116,32	7888	235	2785	0,162		
βτ 3	Tekokuu	13. 12	2. 7. 63	70,33	115,89	7871	226	2763	0,161		
βτ 4	Tekokuu	13. 12	3 1/2 v	70,34	116,24	7886	231	2784	0,162		
βτ 5	Tekokuu	13. 12	4 v	70,34	116,22	7885	229	2785	0,162		
βτ 6	Rakettivaihe	13. 12	6 v	70,36	116,3	7889	248	2774	0,160		
1962 βυ 1	Relay 1	13. 12	100000 v	47,49	185,01	10759	1322	7439	0,284		
βυ 2	Rakettivaihe	13. 12	50000 v	47,45	184,71	10750	1345	7398	0,282		
1962 βφ	Discoverer	14. 12	8. 1. 63	70,97	90,46	6674	199	392	0,014		
1962 βχ	Explorer 16	16. 12	1000 v	52,01	104,32	7344	750	1181	0,029		
1962 βψ 1	Transit 5A ?	19. 12	60 v	90,62	99,12	7090	698	725	0,002		
βψ 3	Rakettivaihe	19. 12	60 v	90,74	99,11	7089	698	723	0,002		
βψ 2	Osa	19. 12	?	90,63	99,2		701	729	0,002		
βψ 4	Osa	19. 12	?	90,49	100,3		702	839			
1962 βω 1	Kosmos 12	22. 12	30. 12. 62	65,0	90,45	6673	198	392	0,015		
βω 2	Rakettivaihe	22. 12	22. 1. 63	64,94	90,17	6662	197	370	0,013		
1963—01A	Lunik ?	4. 1	5. 1. 63	Rata tuntematon							
01—8	Rakettivaihe	4. 1	7. 1. 63								
01—6	Osa	4. 1	7. 1. 63								
1963—02A	Discoverer ?	7. 1	24. 1. 63	82,23	90,54	6680	205	399	0,015		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
02B	Osa	7. 1	16. 1. 63	82,20	90,30	6671	210	376	0,012	
1963—03A	Discoverer ?	16. 1	7 v	81,89	94,66	6874	459	533	0,005	x
03B	Osa	16. 1	8. 11. 63	81,97	94,49		473	503	0,002	
03C	Osa	16. 1	31. 12. 63	81,97	94,70		473	523	0,003	
1963—04A	Rakettivaihe	14. 2	ikuinen	33,30	1425,5	41944	34392	36739	0,028	
04B	Syncom 1	14. 2	100 v	33,12	606,0	23753	252	34498	0,721	
1963—05A	Scout ?	19. 2	20 v	100,48	97,79	7026	505	791	0,020	x
05B	Rakettivaihe	19. 2	25 v	100,49	97,79	7028	510	789	0,020	
05C	Osa	19. 2	?	100,49	97,10		476	754		
05D	Osa	19. 2	?	100,48	98,46		522	838		
1963—06A	Kosmos 13	21. 3	29. 3. 63	64,97	89,77	6636	921	324	0,010	
06B	Rakettivaihe	21. 3	9. 4. 63	64,97	89,77	6636	192	324	0,010	
1963—07A	Discoverer ?	1. 4	26. 4. 63	75,40	90,66	6683	201	408	0,015	
1963—08C	Luna 4 raketti	2. 4	3. 4. 63	65 ?	88 ?					
1963—09A	Explorer 17	3. 4	4 v	57,63	96,40	6964	255	917	0,048	
09B	Rakettivaihe	3. 4	24. 11. 63	57,59	96,32	6962	247	920	0,048	
1963—10A	Kosmos 14	13. 4	29. 8. 63	48,95	92,1	6754	252	499	0,018	
10B	Rakettivaihe	13. 4	6. 7. 63	48,90	91,59	6735	249	465	0,016	
1963—11A	Kosmos 15	22. 4	27. 4. 63	65,00	89,77	6637	160	358	0,015	
11B	Rakettivaihe	22. 4	1. 5. 63	64,95	89,19	6614	170	302	0,010	
1963—12A	Kosmos 16	28. 4	8. 5. 63	65,02	90,4	6669	194	388	0,015	
12B	Rakettivaihe	28. 4	20. 5. 63	65,02	90,48	6674	196	396	0,015	
1963—13A	Telstar 2	7. 5	600000 v	42,73	225,95	12267	974	10803	0,401	
13B	Rakettivaihe	7. 5	200000 v	42,76	224,81	12258	989	10770	0,399	
1963—14A	Midas ?	9. 5	100000 v	87,42	166,48	10020	3604	3680	0,004	x
14B	TRS 1 A	9. 5	50000 v	87,35	166,51	10021	3604	3683	0,004	
14C	TRS 1 B	9. 5	50000 v	87,42	166,47	10020	3606	3678	0,004	
14D	Osa	9. 5	?							
14E	Osa	9. 5	?							
14F	Osa	9. 5	?							
14G	Osa	9. 5	?							
14H	Osa	9. 5	?							
14I	West Ford 2	9. 5	3—5 v	87,4	166,5	10020	3604	3680	0,004	
1963—15A	Mercury MA-9	15. 5	16. 5. 63	32,54	88,74	6592	161	267	0,008	
15B	Rakettivaihe	15. 5	16. 5. 63	32,54	88,10	6571	167	219	0,004	
15C	Vilkkuhajakka	15. 5	?							
1963—16A	Discoverer ?	18. 5	27. 5. 63	74,54	91,12	6703	153	497	0,025	
1963—17A	Kosmos 17	22. 5	2 v	49,0	94,82	6902	260	788	0,037	
17B	Osa	22. 5	26. 8. 63	48,98	94,16		247	718		
17C	Osa	22. 5	22 kk	49,0	96,22		339	825		
17D	Osa	22. 5	30. 8. 63	49,00	94,24		247	728		
17E	Osa	22. 5	25. 7. 63	48,07	94,88		250	786		
17F	Osa	22. 5	30. 9. 63	49,21	95,68		305	807		
17G	Rakettivaihe	22. 5	2. 4. 64	49,0	94,74	6891	265	761	0,036	
1963—18A	Kosmos 18	24. 5	2. 6. 63	65,0	89,44	6620	196	288	0,007	
18B	Rakettivaihe	24. 5	8. 6. 63	65,0	89,47	6620	198	304	0,008	
1963—19A	Discoverer ?	13. 6	12. 7. 63	81,87	90,67	6684	192	419	0,017	
1963—20A	Vostok 5	14. 6	19. 6. 63	64,97	88,27	6564	162	209	0,004	
20B	Rakettivaihe	14. 6	16. 6. 63	64,86	87,88	6547	150	187	0,003	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1963-21A	Discoverer ?	15. 6	8. 8. 63	69,87	95,65	6924	172	919	0,054	
21B	Lofti 2A	15. 6	18. 7. 63	69,88	95,71	6926	171	925	0,054	
21C	SR 4	15. 6	1. 8. 63	69,88	93,00	6751	155	590	0,032	
21D	Radose	15. 6	30. 7. 63	69,88	94,37	6884	175	837	0,048	
21E	Tekokuu	15. 6	27. 7. 63	69,91	94,45	6880	181	829	0,048	
21F	Surcal	15. 6	5. 7. 63	69,86	95,26	6906	169	887	0,052	
21G	Osa	15. 6	3. 7. 63	69,82	89,87		160	370		
1963-22A	Transit 5B ?	16. 6	50 v	89,97	99,76	7119	724	757	0,002	x
22B	Rakettivaihe	16. 6	30 v	90,02	99,75	7119	720	759	0,002	
22C	Osa	16. 6	?	90,24	100,30		736	801		
22D	Osa	16. 6	?	89,91	98,27		563	776		
1963-23A	Vostok 6	16. 6	19. 6. 63	65,09	88,34	6571	168	218	0,004	
23B	Rakettivaihe	16. 6	18. 6. 63	65,08	88,38	6571	163	223	0,005	
1963-24A	Tiros 7	19. 6	50 v	58,23	97,40	7013	621	640	0,002	
24B	Rakettivaihe	19. 6	20 v	58,21	97,35	7011	612	650	0,003	
24C	Osa	19. 6	?	58,30	97,87		621	693		
24D	Osa	19. 6	?	58,10	96,88		574	646		
1963-25A	Discoverer ?	27. 6	26. 7. 63	81,6	90,5	6674	196	396	0,015	
25B	Hitchhiker 1	27. 6	100 v	82,1	132,55	8607	333	4132	0,221	
1963-26A	GRS 1	28. 6	15 v	49,74	102,1	7239	411	1311	0,062	
1963-27A	Discoverer ?	29. 6	7 v	82,3	94,84	6888	484	531	0,004	x
27B	Osa	29. 6	10 v	82,32	94,82		488	517	0,002	
27C	Osa	29. 6	10. 7. 63	82,32	90,28		180	384		
1963-28A	Samos ?	12. 7	18. 7. 63	95,37	88,2	6542	164	164	0	
28B	Osa	12. 7	13. 7. 63	95,31	88,01		123	217		
28C	Osa	12. 7	16. 7. 63	95,37	88,22		175	185		
1963-29A	Discoverer ?	19. 7	13. 8. 63	82,86	90,44	6669	194	387	0,014	
29B	Osa	19. 7	29. 7. 63	82,80	90,12		198	351		
1963-30A	Midas ?	19. 7	100000 v	88,41	168,0	10077	3670	3727	0,003	x
30B	TRS 1 C	19. 7	50000 v	88,36	168,0	10076	3662	3734	0,003	
30C	Osa	19. 7	?							
30D	Pallotekokuu ?	19. 7	6 v	88,42	168,04	10083	3665	3745	0,004	
30E	Osa	19. 7	?							
1963-31A	Syncom 2	26. 7	ikuinen	33,04	1436,0	42168	35780	35800	0,000	
31B	Rakettivaihe	26. 7	15 v	33,14	636,5	24505	255	36020	0,730	
1963-32A	Discoverer ?	31. 7	11. 8. 63	74,95	90,4	6663	157	411	0,019	
32B	Osa	31. 7	10. 8. 63	74,91	90,31		160	410	0,019	
1963-33A	Kosmos 19	6. 8	30. 3. 64	49,01	92,11	6760	267	497	0,017	
33B	Rakettivaihe	6. 8	9. 12. 63	49,00	92,00	6756	267	489	0,016	
1963-34A	Discoverer ?	25. 8	12. 9. 63	75,01	89,4	6618	161	320	0,012	
34B	Osa	25. 8	8. 9. 63							
1963-35A	Discoverer ?	29. 8	7. 11. 63	81,89	90,80	6686	292	324	0,002	
35B	Hitchhiker 2 ?	29. 8	26. 9. 63	81,89	92,07	6749	310	431	0,009	
35C	Osa	29. 8	2. 9. 63	81,89	90,83		296	323		
35D	Osa	29. 8	1. 9. 63	81,88	90,39		278	296		
1963-36A	Samos ?	6. 9	13. 9. 63	94,37	89,06	6594	168	263	0,007	
36B	Osa	6. 9	13. 9. 63	94,4	88,62				0,007	
36C	Osa	6. 9	10. 9. 63	94,3	88,09				0,003	
36D	Osa	6. 9	?	94,2	88,44				0,002	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
36E	Osa	6. 9	10. 9. 63	94,3	89,02					0,008
36F	Osa	6. 9	10. 9. 63	94,37	88,53					0,004
1963-37A	Discoverer ?	23. 9	12. 10. 63	74,90	90,63	6679	161	441	0,021	
1963-38A	Rakettivaihe	28. 9	1000 v	89,80	107,13	7466	1069	1107	0,003	x
38B	Transit ?	28. 9	1000 v	89,90	107,42	7479	1075	1127	0,003	
38C	Tekokuu	28. 9	1000 v	89,89	107,40	7479	1075	1126	0,003	
38D	Osa	28. 9	?							
38E	Osa	28. 9	?							
1963-39A	Vela 1	17. 10	ikuinen	38,3	6270	113000	102098	111137	0,040	
39B	TRS-2	17. 10	10 v	36,77	2329	58240	220	103500	0,887	
39C	Vela 2	17. 10	ikuinen	37,8	6370	113900	99300	115800	0,072	
1963-40A	Kosmos 20	18. 10	28. 10. 63	64,90	89,53	6632	205	302	0,007	
40B	Rakettivaihe	18. 10	30. 10. 63	64,91	89,68	6635	204	310	0,008	
1963-41A	Samos ?	25. 10	29. 10. 63	99,05	88,99	6616	144	332	0,014	
41B	Tekokuu	25. 10	29. 10. 63	99,05	88,55	6675	136	297	0,012	
41C	Osa	25. 10	? 10. 63							
41D	Osa	25. 10	? 10. 63							
1963-42A	Discoverer ?	29. 10	21. 1. 64	89,90	90,84	6690	279	345	0,005	
42B	Hitchhiker 3	29. 10	18 kk	89,99	93,35	6813	285	585	0,022	
42C	Osa	29. 10	27. 11. 63							
1963-43A	Poljet 1	1. 11	10 v	58,92	102,46	7268	343	1437	0,075	x
43B	Kantoraketti	1. 11	3 v	58,58	102,51	7257	324	1434	0,076	
43C	Osa	1. 11		58,89	101,48		308	1377		
43D	Osa	1. 11		59,79	102,14		339	1405		
1963-44A	Kosmos 21	11. 11	14. 11. 63	64,83	88,5	6577	182	216	0,003	
44B	Kantoraketti	11. 11	12. 11. 63	64,83	88,5	6577	182	216	0,003	
1963-45A	Kosmos 22	16. 11	22. 11. 63	64,93	90,3	6665	192	381	0,014	
45B	Rakettivaihe	16. 11	3. 12. 63	64,86	90,14	6658	189	369	0,013	
1963-46A	Explorer 18	27. 11	2 v	33,34	5666	105282	192	197616	0,938	
46B	Rakettivaihe	27. 11	2 v	33,34	5666	105282	192	197616	0,938	
1963-47A	Centaur 2	27. 11	500 v	30,34	107,46	7500	544	1699	0,077	
47B	Osa	27. 11	?							
47C	Osa	27. 11	?							
47D	Osa	27. 11	?							
47E	Osa	27. 11	?							
47F	Osa	27. 11	?							
47G	Osa	27. 11	?							
47H	Osa	27. 11	?							
1963-48A	Discoverer ?	27. 11	15. 12. 63	69,99	90,2	6658	175	386	0,016	
1963-49A	Rakettivaihe	5. 12	1000 v	89,97	106,86	7458	1065	1095	0,002	x
49B	Tekokuu	5. 12	1000 v	89,98	107,18	7468	1067	1112	0,003	
49C	Transit ?	5. 12	1000 v	89,95	107,16	7468	1069	1111	0,003	
49D	Osa	5. 12	?	89,89	107,06					
49E	Osa	5. 12	?							
49F	Osa	5. 12	?							
1963-50A	Kosmos 23	13. 12	27. 3. 64	49,0	92,90	6805	240	613	0,027	
50B	Rakettivaihe	13. 12	6. 3. 64	49,12	92,84	6799	230	611	0,028	
50C	Osa	13. 12	3. 1. 64	49,11	92,88		218	629		
50D	Osa	13. 12	1. 1. 64							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1963—51A	Samos ?	18. 12	20. 12. 63	97,89	88,84	6572	122	266	0,011	
1963—52A	Kosmos 24	19. 12	28. 12. 63	65,03	90,51	6676	204	391	0,014	
52B	Rakettivaihe	19. 12	24. 1. 64	65,00	90,58	6679	207	394	0,014	
1963—53A	Explorer 19	19. 12	4 v	78,62	115,93	7870	590	2394	0,115	x
53F	Osa	19. 12	?	78,6	115,85				0,115	
53C	Osa	19. 12	?	78,6	115,92				0,114	
53D	Osa	19. 12	?	78,6	115,90				0,115	
53E	Osa	19. 12	?	78,6	115,88				0,114	
53B	Rakettivaihe	19. 12	200 v	78,62	115,85	7867	594	2383	0,114	
53G	Osa	19. 12	?	78,6	115,8				0,115	
53H	Osa	19. 12	?							
1963—54A	Tiros 8	21. 12	60 v	58,48	99,33	7105	691	765	0,005	x
54B	Rakettivaihe	21. 12	30 v	58,47	99,27	7103	696	753	0,004	
54C	Osa	21. 12	?							
54D	Osa	21. 12	?							
1963—55A	Discoverer ?	21. 12	8. 1. 64	64,94	89,96	6644	176	355	0,014	
55B	Hitchhiker 4 ?	21. 12	7. 11. 64	64,52	91,68	6733	321	388	0,005	
1964—01A	Discoverer ?	11. 1	800 v	69,91	103,47	7298	905	934	0,002	x
01B	G.G.S.E.	11. 1	1000 v	69,94	103,47	7298	898	942	0,003	x
01C	EGRS (Secor)	11. 1	1500 v	69,89	103,46	7297	904	933	0,002	
01D	SR-5	11. 1	1000 v	69,90	103,47	7298	905	934	0,002	x
01E	Tekokuu	11. 1	1000 v	69,90	103,48	7298	905	934	0,002	x
1964—02A	Discoverer ?	19. 1	300 v	99,07	101,33	7199	792	850	0,004	
02B	Osa	19. 1	1000 v	99,04	101,36	7193	800	829	0,002	
02C	Osa	19. 1	?							
1964—03A	Relay 2	21. 1	1000000v	46,32	194,60	11129	2091	7411	0,239	
03B	Rakettivaihe	21. 1	1000000v	46,3	194,61	11132	2071	7437	0,241	
1964—04A	Echo 2	25. 1	20 v	81,50	108,95	7551	1029	1316	0,019	x
04B	Rakettivaihe	25. 1	5000 v	81,50	108,96	7552	1030	1317	0,019	x
04C	Osa	25. 1	?							
04D	Osa	25. 1	?							
04E	Osa	25. 1	?							
1964—05A	Saturn SA-5	29. 1	20 kk	31,43	94,60	6890	264	760	0,036	
1964—06A	Elektron 1	30. 1	200 v	60,83	169,32	10138	394	7126	0,332	
06B	Elektron 2	30. 1	10 v	60,87	1350,40	40593	441	67988	0,832	
06C	Osa	30. 1	?							
06D	Rakettivaihe	30. 1	10 v	60,97	1384,11	41145	411	69123	0,835	
1964—07A	Discoverer ?	15. 2	9. 3. 64	74,95	90,86	6690	179	444	0,020	
08B	Osa	15. 2	21. 2. 64							
1964—09A	Samos ?	25. 2	1. 3. 64	95,66	88,24	6560	173	190	0,001	
09B	Osa	25. 2	26. 2. 64							
1964—10A	Kosmos 25	27. 2	21. 11. 64	49,01	92,27	6769	255	526	0,020	
10B	Rakettivaihe	27. 2	18. 6. 64	49,07	92,25	6768	234	545	0,023	
10C	Osa	27. 2	4. 3. 64							
10D	Osa	27. 2	23. 4. 64							
1964—11A	Discoverer	28. 2	7 v	82,03	94,74	6878	479	520	0,003	x
11B	Osa	28. 2	?							
11C	Osa	28. 2	?							

2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1964—12A	Samos ?	11. 3	16. 3. 64	95,73	88,2	6561	163	203	0,003	
12B	Osa	11. 3	12. 3. 64							
1964—13A	Kosmos 26	18. 3	28. 9. 64	48,96	91,00	6705	266	387	0,009	
13B	Rakettivaihe	18. 3	17. 5. 64	48,99	90,91	6702	270	377	0,008	
13C	Osa	18. 3	21. 4. 64							
13D	Osa	18. 3	?							
1964—14A	Kosmos 27	27. 3	28. 3. 64	64,80	88,16	6561	167	198	0,002	
14B	Rakettivaihe	27. 3	29. 3. 64	64,80	88,22	6566	181	194	0,001	
14C	Osa	27. 3	28. 3. 64							
14D	Osa	27. 3	28. 3. 64							
1964—15A	Ariel 2	27. 3	4 v	51,64	101,29	7201	285	1362	0,075	
15B	Rakettivaihe	27. 3	3 v	51,67	101,27	7200	282	1362	0,075	
15C	Osa	27. 3	?							
1964—16A	Sond 1 raketti	2. 4	3. 4. 64	64,83	88,47	6578	187	213	0,002	
16B	Osa	2. 4	2. 4. 64	65,22	88,10	6559	122	240	0,009	
16C	Osa	2. 4	5. 4. 64							
1964—17A	Kosmos 28	4. 4	12. 4. 64	65,04	90,37	6671	213	373	0,012	
17B	Rakettivaihe	4. 4	3. 5. 64	65,01	90,48	6676	224	371	0,011	
17C	Osa	4. 4	?							
1964—18A	Gemini GT-1	8. 4	12. 4. 64	32,56	89,00	6605	154	299	0,011	
1964—19A	Rakettivaihe	12. 4	30. 4. 64	59,92	91,45	6729	236	465	0,017	
19B	Poljot 2	12. 4	3 v	58,06	92,31	6769	303	479	0,013	
1964—20A	Samos ?	23. 4	29. 4. 64	103,56	89,40	6621	150	336	0,014	
20B	Osa	23. 4	26. 4. 64							
20C	Osa	23. 4	25. 4. 64							
20D	Osa	23. 4	25. 4. 64							
20E	Osa	23. 4	25. 4. 64							
1964—21A	Kosmos 29	25. 4	2. 5. 64	65,01	89,50	6628	203	296	0,007	
21B	Rakettivaihe	25. 4	11. 5. 64	65,04	89,56	6631	220	286	0,005	
21C	Osa	25. 4	26. 4. 64							
21D	Osa	25. 4	27. 4. 64							
21E	Osa	25. 4	27. 4. 64							
1964—22A	Discoverer	27. 4	26. 5. 64	79,93	90,77	6690	178	446	0,020	
1964—23A	Kosmos 30	18. 5	26. 5. 64	64,87	90,25	6664	206	366	0,012	
23B	Rakettivaihe	18. 5	7. 6. 64	64,84	89,94	6650	205	338	0,010	
1964—24A	Samos ?	19. 5	22. 5. 64	101,12	89,69	6639	141	380	0,018	
1964—25A	Saturn SA-6	28. 5	1. 6. 64	31,74	88,22	6570	179	204	0,002	
1964—26A	Transit ?	4. 6	200 v	90,42	103,12	7283	854	956	0,007	
26B	Osa	4. 6	?							
26C	Osa	4. 6	?							
26D	Rakettivaihe	4. 6	200 v	90,45	103,13	7283	854	956	0,007	
1964—27A	Discoverer ?	4. 6	18. 6. 64	79,96	90,27	6667	149	429	0,021	
1964—28A	Kosmos 31	6. 6	20. 10. 64	48,93	91,61	6735	222	492	0,020	
28B	Rakettivaihe	6. 6	16. 8. 64	48,97	91,60	6733	220	490	0,020	
1964—29A	Kosmos 32	10. 6	18. 6. 64	51,24	89,76	6644	213	319	0,008	
29B	Rakettivaihe	10. 6	14. 7. 64	51,30	89,93	6650	232	312	0,006	
29C	Osa	10. 6	12. 6. 64							
1964—30A	Starflash 1A	13. 6	1 v	114,98	91,67	6735	350	364	0,001	x
1964—31A	Discoverer ?	18. 6	400 v	99,84	101,64	7213	828	842	0,001	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
31B	Osa	18. 6	500 v	99,83	101,64	7213	828	842	0,001	
31C	Osa	18. 6	?							
1964-32A	Discoverer ?	19. 6	16. 7. 64	85,0	90,99	6697	176	462	0,021	
32B	Osa	19. 6	2. 7. 64							
1964-33A	Kosmos 33	23. 6	1. 7. 64	65,0	80,50	6629	209	293	0,021	
33B	Rakettivaihe	23. 6	10. 7. 64	65,08	80,54	6630	219	285	0,005	
33C	Osa	23. 6	24. 6. 64							
33D	Osa	23. 6	24. 6. 64							
1964-34A	Kosmos 34	1. 7	9. 7. 64	64,89	80,98	6653	202	348	0,011	
34B	Rakettivaihe	1. 7	15. 7. 64	64,89	80,80	6644	193	339	0,011	
1964-35A	Discoverer?	3. 7	7 v	82,09	94,94	6803	501	529	0,002	x
1964-36A	Samos?	6. 7	8. 7. 64	92,89	80,20	6612	121	346	0,017	
36B	Paluukapseli?	6. 7	3. 1. 65	92,97	91,2	6715	297	377	0,006	x
36C	Osa	6. 7	19. 7. 64							
1964-37A	Discoverer ?	10. 7	6. 8. 64	84,98	91,00	6699	180	461	0,021	
1964-38A	Elektron 3	10. 7	200 v	60,79	168,17	10093	404	7025	0,328	x
38B	Elektron 4	10. 7	10 v	60,80	1313,63	39737	457	66261	0,828	
38C	Osa	10. 7	?							
38D	Rakettivaihe	10. 7	10 v	60,96	1341,97	40289	471	67350	0,830	
1964-39A	Kosmos 35	15. 7	23. 7. 64	51,24	89,2	6616	218	258	0,003	
39B	Rakettivaihe	15. 7	1. 8. 64	51,32	89,40	6627	216	282	0,005	
39C	Osa	15. 7	31. 7. 64							
39D	Osa	15. 7	31. 7. 64							
1964-40A	Vela 3	17. 7	ikuinen	39,58	6022,6	109653	101959	104591	0,012	
40B	Vela 4	17. 7	ikuinen	40,88	6007,0	109462	94436	111775	0,079	
40C	TRS 2 A	17. 7	10 v	36,7	2364	38988	220	105000	0,888	
1964-42A	Kosmos 36	30. 7	28. 2. 65	49,00	91,85	6747	261	477	0,016	
42B	Rakettivaihe	30. 7	29. 11. 64	49,02	91,83	6746	254	482	0,017	
1964-43A	Discoverer ?	5. 8	1. 9. 64	79,96	90,71	6687	182	436	0,019	
1964-44A	Kosmos 37	14. 8	22. 8. 64	64,92	89,41	6625	207	287	0,006	
44B	Rakettivaihe	14. 8	3. 9. 64	65,01	89,54	6633	215	295	0,006	
1964-45A	Samos ?	14. 8	23. 8. 64	95,52	89,0	6606	149	307	0,012	
45B	Hitchhiker 5 ?	14. 8	30 v	95,67	127,40	8390	275	3748	0,207	
45C	Osa	14. 8	16. 8. 64							
1964-46A	Kosmos 38	18. 8	8. 11. 64	56,12	94,31	6866	206	769	0,041	
46B	Kosmos 39	18. 8	17. 11. 64	56,10	94,59	6880	206	798	0,043	x
46C	Kosmos 40	18. 8	18. 11. 64	56,12	93,95	6851	206	740	0,039	
46D	Rakettivaihe	18. 8	?. 2. 65	56,12	95,13	6908	212	848	0,046	
46E	Osa	18. 8	10. 9. 64	56,14	94,94		214	840	0,045	
46F	Osa	18. 8	6. 9. 64	56,15	93,74		206	729	0,038	
46G	Osa	18. 8	16. 9. 64	56,02	95,11		252	817	0,040	
1964-47A	Syncom 3	19. 8	ikuinen	0,07	1436,5	42177	35790	35799	0	
47B	Rakettivaihe	19. 8	100000 v	16,70	698,83	25914	1137	37935	0,710	
1964-48A	Starflash 1B	21. 8	6 kk	115,0	91,60	6734	349	363	0,001	
1964-49A	Rakettivaihe	22. 8	15. 9. 64	64,74	91,06	6706	200	455	0,019	
49B	Osa	22. 8	28. 9. 64							
49C	Osa	22. 8	30. 8. 64	64,70	91,41		195	536	0,023	
49D	Kosmos 41	22. 8	100 v	64,88	714,58	26477	426	39771	0,743	
49E	Osa	22. 8	?							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1964-50A	Kosmos 42	22. 8	18 kk	48,96	98,05	7047	230	1113	0,062	
50B	Rakettivaihe	22. 8	1 v	48,97	97,91	7040	224	1098	0,062	
50C	Kosmos 43	22. 8	16 kk	48,96	98,00	7042	227	1100	0,062	
1964-51A	Explorer 20	25. 8	800 v	79,77	104,09	7329	878	1024	0,010	
51B	Rakettivaihe	25. 8	500 v	79,93	103,92	7321	877	1009	0,009	
51C	Osa	25. 8	?							
51D	Osa	25. 8	?							
51E	Osa	25. 8	?							
1964-52A	Nimbus 1	28. 8	20 v	98,66	98,42	7061	429	937	0,036	
52B	Rakettivaihe	28. 8	10 v	98,60	98,40	7060	429	934	0,036	
1964-53A	Kosmos 44	28. 8	100 v	65,04	99,48	7114	615	857	0,017	x
53B	Rakettivaihe	28. 8	50 v	65,05	99,54	7117	682	796	0,008	
1964-54A	OGO 1	5. 9	2 v	31,15	3838,8	81211	281	155763	0,918	
54B	Rakettivaihe	5. 9	2 v	31,15	3839	81211	281	155763	0,918	
1964-55A	Kosmos 45	13. 9	18. 9. 64	64,89	89,68	6638	207	313	0,008	
55B	Rakettivaihe	13. 9	27. 9. 64	64,88	89,60	6634	203	309	0,008	
1964-56A	Discoverer ?	14. 9	6. 10. 64	84,96	90,88	6697	238	466	0,022	
56B	Osa	14. 9	26. 9. 64							
1964-57A	Saturn SA-7	18. 9	22. 9. 64	31,72	88,30	6568	178	203	0,002	
1964-58A	Samos ?	23. 9	28. 9. 64	92,91	89,00	6602	145	303	0,012	
58B	Paluukapseli	23. 9	26. 9. 64							
1964-59A	Kosmos 46	24. 9	2. 10. 64	51,25	89,22	6616	211	264	0,004	
59B	Rakettivaihe	24. 9	7. 10. 64	51,27	89,40	6624	234	259	0,002	
1964-60A	Explorer 21	4. 10	10 v	33,53	2097	54271	190	95595	0,879	
60B	Rakettivaihe	4. 10	10 v	33,53	2097	54271	190	95595	0,879	
1964-61A	Discoverer ?	5. 10	26. 10. 64	79,97	90,75	6689	182	440	0,019	
1964-62A	Kosmos 47	6. 10	7. 10. 64	64,62	90,07	6657	174	383	0,016	
62B	Rakettivaihe	6. 10	17. 10. 64	64,71	89,92	6649	168	373	0,015	
62C	Osa	6. 10	9. 10. 64	64,72	89,79		184	364	0,013	
62D	Osa	6. 10	12. 10. 64	64,77	90,03		189	338	0,014	
62E	Osa	6. 10	9. 10. 64	64,76	89,68		185	326	0,012	
1964-63A	Rakettivaihe	6. 10	1500 v	89,91	106,65	7448	1055	1085	0,002	x
63B	Tekokuu	6. 10	1000 v	89,92	106,65	7448	1055	1085	0,002	
63C	Tekokuu	6. 10	1000 v	89,93	106,63	7447	1054	1084	0,002	
63D	Osa	6. 10	?	89,91	106,67		1056	1103	0,002	
63E	Tekokuu	6. 10	1000 v	89,97	106,66	7449	1056	1086	0,002	
1964-64A	Explorer 22	10. 10	2000 v	79,69	104,70	7359	885	1077	0,013	
64B	Rakettivaihe	10. 10	300 v	79,69	104,75	7362	888	1079	0,013	
1964-65A	Voshod 1	12. 10	13. 10. 64	64,90	90,04	6655	177	377	0,015	
65B	Rakettivaihe	12. 10	20. 10. 64	64,77	89,39	6627	169	328	0,012	
65C	Osa	12. 10	13. 10. 64	64,70	89,59		174	334	0,013	
1964-66A	Kosmos 48	14. 10	20. 10. 64	65,08	89,32	6622	204	284	0,006	
66B	Rakettivaihe	14. 10	28. 10. 64	65,06	89,53	6629	211	291	0,006	
66C	Osa	14. 10	16. 10. 64	65,00	89,10		165	187	0,005	
1964-67A	Discoverer ?	17. 10	4. 11. 64	74,99	90,59	6681	189	416	0,017	
1964-68A	Samos?	23. 10	28. 10. 64	95,55	88,6	6583	139	271	0,010	
68B	Hitchhiker 6 ?	23. 10	23. 2. 65	95,84	91,14	6708	323	336	0,001	
68C	Hitchhiker 7 ?	23. 10	3. 11. 64							
68D	Osa	23. 10	29. 10. 64	95,53	88,62		136	246	0,011	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1964—69A	Kosmos 49	24. 10	14 kk	48,99	91,78	6743	264	466	0,015	
69B	Rakettivaihe	24. 10	5 kk	48,94	91,81	6746	260	477	0,016	
69C	Osa	24. 10	17. 11. 64	48,94	91,41		255	442	0,014	
1964—70A	Kosmos 50	28. 10	5. 11. 64	51,23	88,67	6588	190	230	0,003	
70B	Rakettivaihe	28. 10	2. 11. 64	51,24	88,86	6592	187	240	0,004	
70C	Osa	28. 10								
70D	Osa	28. 10								
1964—71A	Discoverer ?	2. 11	1½ kk	79,95	90,70	6692	180	448	0,020	
1964—72A	Discoverer ?	4. 11	7 v	82,00	95,05	6897	512	526	0,001	x
72B	Osa	4. 11	?							
72C	Osa	4. 11	?							
72D	Osa	4. 11	?							
1964—74A	Explorer 23	6. 11	50 v	51,95	99,17	7100	466	977	0,036	
1964—75A	Discoverer ?	18. 11	1 kk	70,02	89,71	6638	180	339	0,012	
1964—76A	Explorer 24	21. 11	5 v	81,36	116,30	7889	525	2498	0,125	
76B	Explorer 25	21. 11	200 v	81,36	116,27	7886	522	2494	0,125	
76C	Rakettivaihe	21. 11	100 v	81,36	116,2	7891	531	2495	0,124	
76D	Osa	21. 11		81,35					0,124	
76E	Osa	21. 11		81,41					0,124	
76F	Osa	21. 11		81,27					0,122	
76G	Osa	21. 11		81,37					0,125	
76H	Osa	21. 11		81,30					0,121	
76I	Osa	21. 11		81,24					0,125	
76J	Osa	21. 11		81,41					0,123	
76K	Osa	21. 11		81,36					0,124	
1964—78A	Sond 2 raketti	30. 11	1. 12. 64	64,72	88,16	6564	153	219	0,005	
78B	Rakettivaihe	30. 11	2. 12. 64	64,73	88,15	6562	177	190	0,001	
1964—79A	Samos	4. 12	6. 12. 64	97,02	89,69	6636	158	357	0,015	
1964—80A	Kosmos 51	9. 12	1 v	48,78	92,44	6776	262	533	0,020	
80B	Rakettivaihe	9. 12	5 kk	48,78	92,46	6778	257	542	0,021	
80C	Osa	9. 12	29. 12. 64	48,79	92,30		257	527	0,020	
80D	Osa	9. 12	1. 1. 65	48,74	92,00		257	464	0,017	
80E	Osa	9. 12	1. 1. 65	48,77	92,01		259	495	0,017	
80F	Osa	9. 12	2. 1. 65	48,77	92,08		257	475	0,012	
1964—81A	Titan 3A 2	10. 12	13. 12. 64	32,15	87,60	6542	157	170	0,001	
1964—82A	Centaur AC-4	11. 12	12. 12. 64	30,71	87,81	6550	165	178	0,001	
1964—83A	Rakettivaihe	13. 12	1000 v	89,99	106,06	7420	1012	1071	0,004	
83B	Tekokuu	13. 12	1000 v	89,97	106,26	7430	1031	1074	0,003	
83C	Tekokuu	13. 12	1000 v	89,99	106,36	7435	1027	1086	0,004	
83D	Transit	13. 12	1000 v	89,86	106,33	7433	1025	1084	0,004	
83E	Osa	13. 12		89,99					0,005	
83F	Osa	13. 12		90,00					0,005	
1964—84A	San Marco 1	15. 12	8 kk	37,77	94,94	6900	198	846	0,047	
84B	Rakettivaihe	15. 12	7. 2. 65	37,80	93,5	6824	194	697	0,037	
84C	Osa	15. 12	21. 1. 65							
1964—85A	Discoverer	19. 12	14. 1. 65	74,97	90,46	6675	183	410	0,017	
1964—86A	Explorer 26	21. 12	10 v	20,14	456,26	19632	316	26191	0,659	
86B	Rakettivaihe	21. 12	10 v	20,14	456,26	19632	316	26191	0,659	
1964—87A	Discoverer	21. 12	11. 1. 65	70,08	89,5	6629	238	264	0,002	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1965—01A	Kosmos 52	11. 1	19. 1. 65	65,00	89,50	6628	203	298	0,007	
01B	Rakettivaihe	11. 1	29. 1. 65	64,98	89,53	6633	215	295	0,006	
01C	Osa	11. 1	13. 1. 65	64,95	89,31		180	237	0,009	
01D	Osa	11. 1	13. 1. 65	65,06	89,44				0,006	
1965—02A	Discoverer	15. 1	9. 2. 65	74,95	90,52	6678	180	420	0,018	
02B	Osa	15. 1	29. 1. 65							
1965—03A	Tekokuu	19. 1	10 v	98,78	97,68	7025	471	822	0,025	
03B	Osa	19. 1		98,82					0,022	
03C	Osa	19. 1		98,70					0,022	
1965—04B	Tiros 9	22. 1	1000 v	96,40	119,23	8022	705	2582	0,117	
04B	Rakettivaihe	22. 1	200 v	96,43	119,32	8028	710	2589	0,117	
1965—05A	Samos	23. 1	29. 1. 65	102,5	88,85	6597	146	291	0,011	
05B	Osa	23. 1	25. 1. 65	102,54	88,09		143	215		
1965—06A	Kosmos 53	30. 2	18 kk	48,72	98,71	7077	218	1180	0,068	
06B	Rakettivaihe	30. 1	1 v	48,72	98,64	7075	230	1164	0,066	
06C	Osa	30. 1		48,72	97,86		225	1086	0,062	
06D	Osa	30. 1		48,71	97,63		218	1002	0,061	
1965—07A	OSO 2	3. 2	40 v	32,87	96,40	6970	550	634	0,006	
07B	Rakettivaihe	3. 2	20 v	32,86	96,39		545	639	0,007	
1965—08A	Titan 3A 3	11. 2	100000 v	32,13	145,47		2776	2802	0,001	
08B	Tekokuu	11. 2	100000 v	32,15	145,21		2778	2779	0,000	
08C	Osa	11. 2	100000 v	32,15	145,63		2791	2800	0,000	
1965—09A	Pegasus 1	16. 2		31,75	96,89		508	725	0,015	
09B	Apollo	16. 2		31,76					0,017	
1965—11A	Kosmos 54	21. 2		56,36	106,26		257	1854	0,105	
11B	Kosmos 55	21. 2		56,02	105,27		261	1752	0,101	
11C	Kosmos 56	21. 2		56,04	104,56		258	1703	0,097	
11D	Rakettivaihe	21. 2		56,05	104,97		260	1750	0,100	
11E	Osa	21. 2		56,04	104,40		260	1690	0,097	
1965—12A	Kosmos 57	22. 2	22. 2. 65	64,74	90,42		165	427		
12B	Rakettivaihe	22. 2		64,74	90,46		182	350	0,018	
12C-12AH	Osia (29 kpl)	22. 2								
1965—13A	Discoverer	25. 2		75,07	90,08		179	381	0,015	
1965—14A	Kosmos 58	26. 2		65,02	96,80		580	660	0,006	
14B	Rakettivaihe	26. 2		65,05	96,91		516	708	0,014	

## Tekoplaneettaluettelo

Sarakkeet:

- 1 *Tieteellinen nimi.* Vuoden 1959 tekoplaneetoille on annettu nimi jälkikäteen, joten ne eivät ole tekokuiden kanssa aikajärjestyksessä.
- 2 *Nimi.*
- 3 *Lähtöpäivämäärä.* Lähtövuosi ilmenee tieteellisestä nimestä. Kaikki tekoplaneetat ovat ikuisia.
- 4 *Perihelium.* Lähinnä Aurinkoa olevan pisteen etäisyys Auringosta tähtitieteellisissä yksiköissä mitattuna. 1 ty = 149 500 000 km = Maan keskietäisyys Auringosta.
- 5 *Aphelium.* Kauimpana Auringosta olevan pisteen etäisyys Auringosta ty:ssä mitattuna.
- 6 *Radan epäkeskeisyys.*
- 7 *Radan kaltevuus ekliptikaan asteissa.*
- 8 *Kiertoaika Maan vuorokausissa.*
- 9 *Huomautuksia.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1959	$\mu$ 1	Lunik 1	2. 1	0,978	1,318	0,148	0,01	450	6000 km kuun ohi
	$\mu$ 2	Rakettivaihe	2. 1	rata luultavasti kuten Lunik 1					
1959	$\nu$ 1	Pioneer 4	3. 3	0,987	1,142	0,073	1,3	398	60000 km kuun ohi
	$\nu$ 2	Rakettivaihe	3. 3	rata luultavasti kuten Pioneer 4					
1960	$\alpha$ 1	Pioneer 5	11. 3	0,806	0,992	0,104	3,3	312	Radioyhteys 36,2 milj km.
	$\alpha$ 2	Rakettivaihe	11. 3	rata luultavasti kuten Pioneer 5					
1961	$\gamma$ 1	Venik 1	12. 2	0,718	1,019	0,173	0,5	300	99000 km Venuksen ohi
1962	$\alpha$ 1	Ranger 3	26. 1	0,985	1,164	0,083	0,4	406	37000 km kuun ohi
	$\alpha$ 2	Rakettivaihe	26. 1	Rata tuntematon					
1962	$\mu$ 2	Ranger 4 rak.	23. 4	Rata tuntematon					
				Ranger 4 osui kuuhun					
1962	$\alpha\theta$ 1	Mariner 2	27. 8	0,705	1,229	0,271	1,7	348	Venuksen ohitus (35000 km)
	$\alpha\theta$ 2	Rakettivaihe	27. 8	Rata tuntematon					
1962	$\beta\eta$ 1	Ranger 5	18. 10	0,950	1,068	0,058	0,4	370	500 km kuun ohi
	$\beta\eta$ 2	Rakettivaihe	18. 10	Rata tuntematon					
1962	$\beta\nu$ 1	Mars 1	1. 11	Rata tuntematon			2,6	?	radiohäiriö 106 milj km maasta.
	$\beta\nu$ 2	Rakettivaihe	1. 11	Rata tuntematon					
1963—08A		Luna 4	2. 4	Rata tuntematon					
	08B	Rakettivaihe	2. 4	Rata tuntematon					
1964—07B		Ranger 6 rak.	30. 1	Rata tuntematon					
1964—16D		Sond 1	2. 4	Venuksen ohitus kaukaa					
1964—73A		Mariner 3	5. 11	448 Epäonnistunut Mars-lento					
1964—77A		Mariner 4	28. 11	Ohittaa Marsin 15.7.65 ?					
	77B	Rakettivaihe	28. 11	Rata tuntematon					
1964—78C		Sond 2	30. 11	Ohittaa Marsin 13.7.65 ?					



# TÄHTITIEDETTÄ HARRASTAJILLE IV

Maailmankaikkeus ja sen ilmiöt, tähdet ja kuu kiinnostavat ihmistä entistä enemmän nykyisenä tekokuiden ja avaruuden valloituksen aikakautena. Tähtitieteellisen yhdistyksen Ursan julkaisusarjan viides teos on kaikille alan harrastajille tarkoitettu kirja, jossa asiantuntijat selvittelevät tähtitieteen kysymyksiä ja uusimpia saavutuksia. Teokseen sisältyvät seuraavat kirjoitukset:

Prof. *R. A. Hirvonen*: Maailmankaikkeuden syntyteorioista  
• Tekn. tri *V. V. Kolho*: Kuinka planeetat ovat syntyneet? •  
Prof. *Aarno Niini*: Mietteitä planeettakunnan synnystä •  
Prof. *Erkki Kääriäinen*: Juliaaninen jakso • Dipl.ins. *H. Tuori*: Merimiehen oppaat Kochabista tekokuuhun • Prof. *V. R. Ölander*: Taivaankappaleiden nousu- ja laskuaikojen laskemisesta • Opettaja *B. E. Seljo*: Tähdistöjen nimistöstä  
• Liikennelentäjä *Börje Hielm*: Tekokuutaulukko • Dipl.ins. *Pertti Jotuni*: Piirteitä viimeaikaisesta kehityksestä tähtitieteen eri aloilla • Fil. kand. *Juhani Kakkuri*: Kuulumisia Ursan tähtitornista