

TÄHTIEN JA GALAKSIEN MAAILMA



Tähtitieteellinen yhdistys Ursa

**TÄHTIEN JA
GALAKSIEN
MAAILMA**

URSAN JULKAISUJA VII

TÄHTIEN JA GALAKSIEN MAAILMA

Toimittaneet:
Tapio Markkanen
Seppo Linnaluoto

2. painos



Helsinki
Tähtitieteellinen Yhdistys Ursa ry

TÄHTITIEDETTÄ HARRASTAJILLE V

FK Mauri Valtonen: MAAILMANKAIKKEUDEN VARHAISEMPI HISTORIA	7
I Galaksien maailma s. 7 – II Atomien maailma s. 9 – Atomit s. 9 – Lähestymis- ja etäännytnönopeuden mittaaminen s. 13 – Atomien ytimet s. 15 – Antiaine s. 18 – Alkeishiukkasten syntyminen ja tuhoutuminen s. 19 – III Maailmankaikkeuden rakenne ja synty s. 20 – Galaksit ja avaruuden rakenne s. 20 – Avaruuden kaarevuus s. 22 – Laajeneva avaruus s. 24 – Punasiirtymä s. 26 – Kolmen asteen taustasäteily s. 26 – Maailman alkutila s. 28 – IV Maailmankaikkeuden varhaisempi historia s. 30 – Hadronien aikakausi s. 30 – Leptonien aikakausi s. 31 – Säteilyn aikakausi s. 32 – Tulipallo s. 33 – Galaksien ja tähtien synty s. 35 – Antiainegalaksit s. 37 – Äärellinen vai ääretön maailmankaikkeus s. 38	
FK Toivo Jaakkola: VAKAA VAI LEVOTON KOSMOS	41
FT Kalevi Mattila: PIMEISTÄ SUMUISTA JA TÄHTIENVÄLISISTÄ HIUKKASISTA	51
Avaruuden tyhjyys s. 51 – Pimeät sumut ja tähtienvälinen absorptio s. 53 – Tähtienvälinen punertuminen ja polarisaatio s. 56 – Etsintäkuulutetut hiukkaset s. 57 – Heijastussumut ja diffuusi Linnunradan valo s. 59	
FT Kalevi Mattila: ETELÄISESTÄ TÄHTITAIVAASTA JA SEN TUTKIMISESTA	63
Katselemme eteläistä tähtitaivasta s. 63 – Tutkimuskohteita eteläisellä tähtitaivaalla s. 65 – Havainnontekijöitä ja tähtitorneja eteläisellä pallonpuoliskolla s. 70	
Dos. Osmi Vilhu: TÄHTIEN SPEKTRIT	74
Johdanto s. 74 – Spektriluokittelu s. 75 – Alkuaineet tähdissä s. 82 – Kemialliset runsaudet tähtien pintakerroksissa s. 83	
Dos. Osmi Vilhu: TÄHTIEN KEHITYS	92
1. Johdanto ja eräitä fysikaalisia periaatteita s. 92 – 2. Pääsarjavaihe ja pääsarjan jälkeinen kehitys s. 93 – 3. Eräitä havaintoja pääsarjan tähdistä s. 98 – 4. Erilaisia tähtiä ja erilaisia populaatioita s. 100 – 5. Tähtijoukot s. 104 – 6. Pallomaiset joukot s. 110 – 7. Tähtien syntyminen ja kuoleminen s. 116	
Prof. Jaakko Tuominen: AURINGON MAGNEETTISISTA KENTISTÄ	119
FK Jukka Nikander: JUPITERIN ILMAKEHÄN VIRTAUKSIA	129
Puuskat s. 131 – Tummienvöiden muodostuminen ja kehitys s. 133	
Prof. Erkki Kääriäinen: LISIÄ NAPAPIIRIEN LIIKKEISIIN	138

Prof. Raimo Lehti: GALILEO GALILEIN ”TÄHTIMAAILMAN SANANSAATTAJA”	146
1. Taistelevat maailmankuvat s. 146 – 2. Uskonnollisten ja poliittisten olojen vaikutus ilmapiiriin s. 149 – 3. Galilein elämänvaiheet vuoteen 1609 s. 149 – 4. Kaukoputken keksiminen s. 151 – 5. Galileo Galilein kaukoputket s. 153 – 6. Galilein havainnot Kuusta s. 156 – 7. Galilein havainnot kiintotähdistä s. 166 – 8. Jupiterin kuiden löytäminen s. 167 – 9. Tähtimailman sanansaattajan vaikutus s. 174 – 10. Galileo Galilei havaitsevana tähtitieteilijänä s. 175	
Prof. Tauno Honkasalo: YRJÖ VÄISÄLÄ, URSAN KUNNIAJÄSEN	178
Prof. R.A. Hirvonen: V.A. HEISKANEN, URSAN KUNNIAJÄSEN	182
Prof. Erkki Kääriäinen: URSAN PUOLIVUOSISATAISTAIPALEELTA	185
FL Tapio Markkanen: METSÄHOVIN OBSERVATORIO	189
Alkuvaiheet s. 189 – Observatoriorakennus s. 190 – Teleskoopin optiikka s. 191 – Putki s. 193 – Teleskoopin pystytys s. 193 – Teleskoopin mekaaninen toiminta s. 195 – Etsijä ja ohjausputki s. 196 – Mittalaitteet s. 197 – Tämän hetken tutkimusohjelmat s. 198 – Tulevaisuuden näkymiä ja suunnitelmia s. 199	
Kem. yo. Kari Kaila: TÄHTIVALOKUVAUKSESTA	200
Filmi s. 200 – Kuvausta tavallisella kameralla s. 203 – Kameroista s. 205 – Kuvauksia kauko-objektiveilla s. 206 – Kuvaukset kaukoputken läpi s. 209 – Lisää filmeistä s. 220 – Filmin herkistäminen s. 222 – Värikuvaukset s. 223 – Filmitestit s. 223	
FL Vilppu Pirola: KIERTOKONEISTO HARRASTAJAN KAUKOPUTKEEN	230
1. Akselinsa suuntaisesti liikkuva tangenttiruuvi s. 230 – 2. Keskipisteensä ympäri kääntyvä sekanttiruuvi s. 239 – 3. Loppupäätelmiä s. 241	
TÄHTITIETEELLINEN YHDISTYS URSA	246

MAAILMANKAIKKEUDEN VARHAISEMPI HISTORIA

Mauri Valtonen

Onko maailma joskus syntynyt vai onko se ollut aina olemassa? Onko se äärellisen kokoinen vai äärettömän suuri? Onko jossain olemassa reuna, johon aineellinen maailmamme loppuu ja jonka tuolla puolen olisi jotain muuta? Näihin ja moniin muihin maailmankaikkeuttamme koskeviin kysymyksiin etsimme vastausta tässä kirjoituksessa. Maailmankaikkeuden kokonaisrakenteen tutkimisessa galakseilla ja niiden muodostamilla joukoilla on keskeinen asema. Toisaalta on maailmankaikkeuden kehitystä koskevista teorioista tullut korostetusti esille atomi- ja ydinfysiikan suuri merkitys. Tämän vuoksi tutustummekin aluksi galakseihin sekä joihinkin tärkeimpiin atomi- ja ydinfysiikan ilmiöihin. Sen jälkeen lähemme tutkimaan maailmankaikkeuden alkuperää ja kehitystä nykyiseen muotoonsa. (Sellainen lukija, jolle galaksit ja atomaariset ilmiöt ovat entuudestaan tuttuja, voi aloittaa suoraan kolmannesta kappaleesta.)

I GALAKSIEN MAAILMA

Paljain silmin tähtiä voi nähdä useita tuhansia, mutta jo vaatimatonta kaukoputkia paljastaa niiden loputtomalta tuntuvan paljouden. Erikoisen paljon tähtiä näyttää olevan koko taivaan yli kaareutuvan Linnunradan tähtivyön suunnassa. Pitkäaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että tähdet muodostavat avaruudessa kiekon muotoisen järjestelmän, ja että Linnunradan suuntaan katsottaessa nähdään tähdet kiekon tason suunnassa. Luonnollisestikin kiekon sisällä oleva katsoja näkee enemmän tähtiä kiekon leveyssuunnassa kuin sen paksuussuunnassa. Tätä kiekkoa kokonaisuudessaan kutsutaan myös Linnunradaksi. Sen halkaisija on noin sata tuhatta valovuotta ja paksuus keskikohdalta noin viisitoista tuhatta valovuotta. Aurinko on melko kaukana keskustasta, noin kolmenkymmenen tuhannen valovuoden päässä. Tähtiä on tiheimmässä Linnunradan keskiosissa kuin reunoilla, ja aivan kiekon keskellä on noin kolmen valovuoden läpimittainen **keskusydin**, jossa tähtiä on ehkä kymmenen miljoonaa kertaa tiheimmässä kuin auringon läheisyydessä. Linnunradassa on noin sata miljardia tähteä, jotka kiertävät keskustan ympäri kukin omaa rataansa pitkin. Aurinko tekee yhden kierroksen kerran kahdessa sadassa miljoonassa vuodessa. Paitsi tähtiä, Linnunradassa on myös runsaasti kaasua ja pölypilviä, jotka mm. varjostavat tähtien valoa ja estävät meitä näkemästä kiekkomme keskustaa ja sen toisella puolella olevaa Linnunradan osaa.

Pienelläkin kiikarilla voi taivaalla nähdä useita sumumaisia täpliä.

Linnunrataamme kuuluvien sumujen lisäksi taivaalla näkyy suuri määrä sumuja, jotka ovat kaukana meidän kiekkomme ulkopuolella. Jälkimmäisiä sumuja kutsutaan **galakseiksi** ja ne ovat samanlaisia järjestelmiä kuin Linnunrata. Linnunrata on itse asiassa varsin tavallinen galaksi maailmankaikkeuden lukemattomien muiden galaksien joukossa. Galakseja on löydetty sitä enemmän mitä suurempia kaukoputkia on pystytty valmistamaan. Etäisimmät tunnetut galaksit ovat noin kolmen miljardin valovuoden päässä. Koska valo tarvitsee kolme miljardia vuotta tämän matkan kulkemiseen, näemme siis tällä hetkellä valoa, joka on lähtenyt juuri näin monta vuotta sitten kaukaisesta galaksista liikkeelle meitä kohti. Toisin sanoen, se kuva, jonka me galaksista saamme, on historiallinen: Näemme galaksin sellaisena kuin se oli kolme miljardia vuotta sitten, mutta siitä, minkälainen se on tällä hetkellä voimme esittää vain arvailuja. Yleensäkin, mitä kauempana avaruudessa olevaa kohdetta katsotaan, sitä kauemmaksi menneisyyteen myös nähdään. Galaksit esiintyvät harvoin yksittäin. Tavallisesti ne ovat rykelmissä, joita kutsutaan **galaksiryhmiksi** ja **galaksijoukoiksi**. Yhdessä galaksirykelmässä voi olla vain muutamia galakseja, tai siihen voi kuulua useampiakin, jopa kymmeniä tuhansia galakseja. Meidän Linnunratamme kuuluu pieneen ryhmään, jossa on vain parikymmentä jäsentä. Meitä lähinnä oleva suuri galaksijoukko näkyy (pienelläkin harrastelijan kaukoputkella) Neitsyen tähtikuvion (latin. Virgo) suunnassa, ja siihen kuuluu noin viisisataa galaksia. On mahdollista, että meidän galaksiryhmämme muiden pienten lähellä olevien ryhmien keralla kiertää **Virgo-joukon** (kuten e.m. suurta joukkoa kutsutaan) ympäri. Jos näin olisi, niin silloin Virgo-joukko olisi n.s. **supergalaksin** keskus, tarkemmin sanoen sen supergalaksin, johon me itse kuulumme (mikä nimi sille sitten keksittäneekin). Tällä hetkellä on kuitenkin vielä epävarmaa, muodostavatko galaksijoukot ja galaksiryhmät supergalakseja, vai ovatko galaksijoukot luonnon suurin rakennusosa.

Muodostaaksemme itsellemme havainnollisen kuvan galaksien maailmasta kuvittelemme nyt valmistavamme pienoismallin, jossa galaksien koot ja etäisyydet ovat oikeassa suhteessa. Valitsemme mittakaavan niin, että kymmenen pennin kolikko edustaa Linnunrataa. Omaan galaksiryhmäämme kuuluva **Andromeda-galaksi** on monessa suhteessa hyvin paljon Linnunradan kaltainen. Pienoismallissamme sitä voi esittää viidenkymmenen pennin kolikolla, joka on noin puolen metrin päässä Linnunradasta. Omaan galaksiryhmäämme kuuluu kaikkiaan noin kaksikymmentä galaksia, jotka kaikki tulisi sijoittaa pienoismallissamme noin puolen metrin läpimittaiseen tilavuuteen. Virgon galaksijoukko tulisi kymmenen metrin etäisyydelle, ja kaikki sen sadat galaksit olisivat noin puolentoista metrin läpimittaisella alueella. Esim. Virgo-joukon keskellä olevaa suurta galaksia, Messier 87:ää voidaan esittää pallolla, jonka läpimitta on sama kuin Andromeda-galaksin (50 pennin kolikko). Galaksien koko vaihtelee suuresti, suurimman osan ollessa

pienempiä kuin Linnunrata. Samoin niiden muoto vaihtelee täysin litteästä kiekosta aina pallon muotoon ja epämääräisen muotoiseen asti. Täydentääksemme mallimme meidän on vielä sijoitettava lukemattomia muita eri kokoisia levymäisiä ja enemmän tai vähemmän litistyneitä palloja keskimäärin puolen metrin päähän toisistaan, kuitenkin niin että nämä malligalaksimme sijoittuvat suurempiin tai pienempiin rykelmiin. Etäisin havaittu galaksijoukko tulisi olemaan noin kuudensadan metrin päässä Linnunradasta.

II ATOMIEN MAAILMA

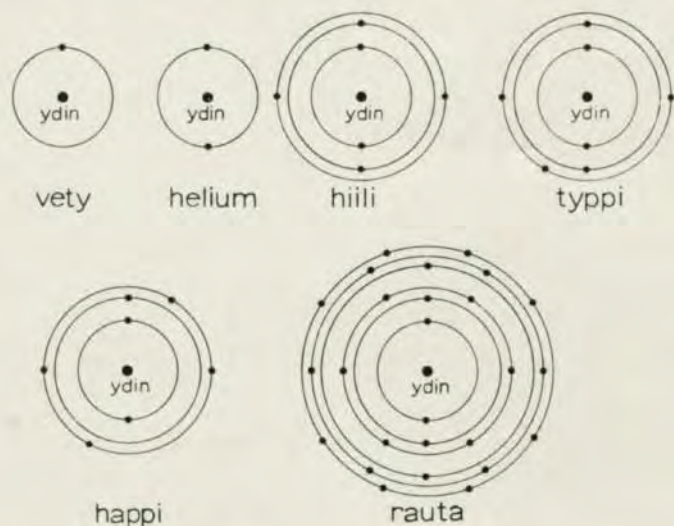
Mistä maailmankaikkeuden kaikki erilaiset rakenteet koostuvat; mikä on se aine, josta galaksit on tehty; entä mikä on tähtien perusrakenteensa; ja onko ehkä maapallokin siihen kuuluvine kasveineen, eläimineen ja ihmisineen tehty samoista perusosista kuin muukin maailmankaikkeus? Kaiken sen perusteella, mitä vuosisatojen tutkimustyön tuloksena on luonnosta saatu selville, näyttää selvältä, että maailmamme on kokoonpantu muutamista perusosista, jotka ovat samoja kaikkialla avaruudessa aina meidän maapalloltamme kaukaisimpiin galakseihin asti. Näitä muutamia perusosia eri tavoin yhdistelemällä syntyvät niin hyvin ihmiset, eläimet ja kasvit kuin planeetat, tähdet ja galaksitkin. Käymme nyt tarkastelemaan lähemmin, mitä e.m. perusosaset ovat ja miten ne liittyvät toisiinsa muodostaessaan suurempia rakenteita.

ATOMIT

Jos lähdemme mielikuvituksessamme jakamaan jotain ainehiukkasta (vaikkapa raudan murusta) ensin kahteen osaan, joista toisen jaamme edelleen kahtia ja otamme toisen puoliskon ja jaamme sen edelleen kahtia, j.n.e., tulee epäilemättä jonkun ajan kuluttua vastaan sellainen puolisko, jota emme saa millään yksinkertaisella tavalla enää jaetuksi. Ajatelkaamme aloittavamme jakamisen millimetrin läpimittaisesta murusesta. Silloin noin kuudenkymmenen perättäisen jaon jälkeen saamme (ainakin teoriassa; miten käytännössä kävisi on jo eri juttu) haltuumme hiukkasen, jota ei enää saa jaetuksi, **atomin**. Atomi on niin pieni hiukkanen, ettei sitä voi nähdä edes parhaallakaan mikroskooppilla: sen läpimitta on vähemmän kuin millimetrin miljoonasosa. Vaikka atomi on näin pieni, on senkin havaittu koostuvan vielä pienemmistä osista. Atomia voidaan hyvin kuvitella aurinkokuntana pienoiskoossa; keskellä on atomin **ydin**, jota kiertää yksi tai useampia **elektroneja** (kuten planeetat kiertävät aurinkoa). Ytimen läpimitta on vain noin kymmenestuhannesosa atomin koko läpimitasta, ja elektronit ovat vielä paljon ytimiä pienempiä, joten käytännöllisesti katsoen atomien voidaan sanoa olevan tyhjää täynnä (samoin kuin aurinkokunnassakin aine on keskittynyt pääasiassa muutamaani harvoin

kappaleisiin, joiden välillä on lähes tyhjää avaruutta). Planeetat pitää radoillaan niiden ja auringon välinen gravitaatiovetovoima. Ytimien ja elektronien välillä vaikuttaa myös gravitaatiovoima, mutta se on olemattoman heikko verrattuna toiseen niiden välillä vaikuttavaan voimaan, **sähköiseen vetovoimaan**, joka pitää elektronit radoillaan ytimen ympäri.

Atomeja on erilaisia riippuen siitä kuinka monta elektronia kiertää ytimen ympärillä. Kaikkiaan tunnetaan erilaisia atomilaatuja noin sata erilaista, ja yhdestä atomilaadusta kokoonpantua ainetta kutsutaan **alkuaineeksi**. Alkuaineiden lisäksi on maapallomme pinnalla myös muita aineita, kuten puuta, kiveä j.n.e., jotka kaikki voidaan muodostaa sopivasti yhdistämällä eri atomilaatuja, alkuaineita. Yksinkertaisin ja samalla maailmankaikkeuden yleisin alkuaine on vety, jonka atomissa yksi elektroni kiertää ytimen ympärillä. Toiseksi yleisin alkuaine on helium, jonka ydintä kiertää kaksi elektronia. Seuraavaksi yleisimmät alkuaineet ovat hiili (kuusi elektronia), typpi (seitsemän elektronia) ja happi (kahdeksan elektronia). Myös alkuaine rauta (26 elektronia) on varsin yleistä maailmankaikkeudessa (kuva 1).



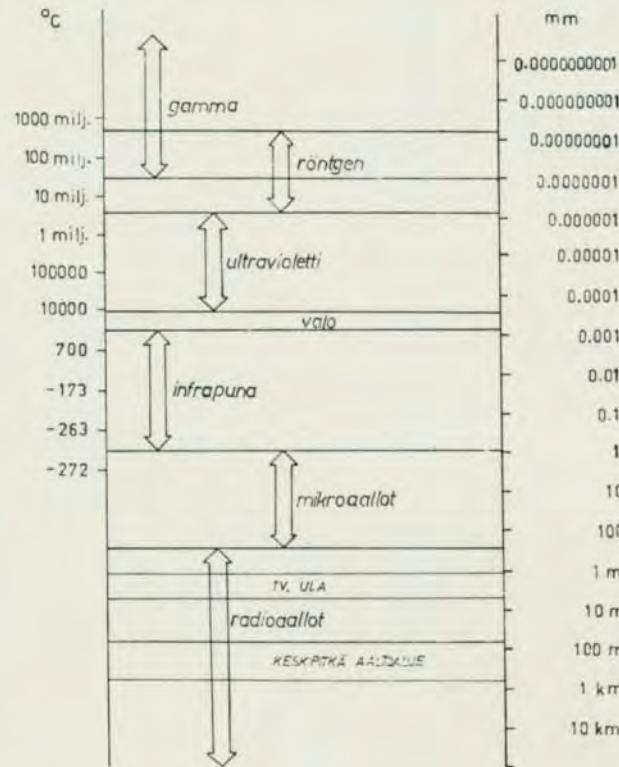
Kuva 1. Esimerkkejä eri alkuaineista. Kuten huomataan, useampia elektroneja voi kiertää samalla radalla, mutta ei kuitenkaan enempää kuin kunkin radan suurin sallittu määrä.

SÄHKÖMAGNEETTINEN SÄTEILY

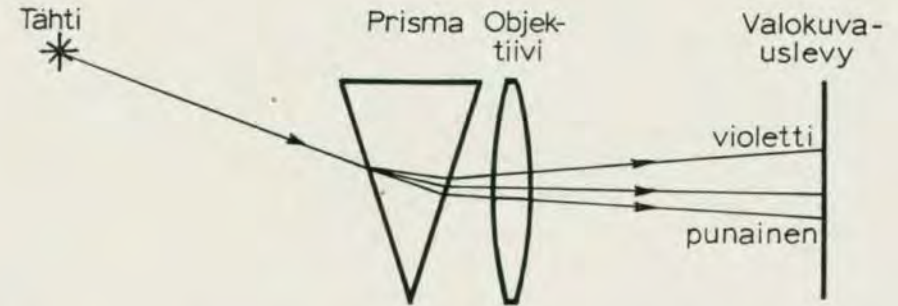
Planeetat kiertävät uskollisesti samaa rataa vuosituhannesta toiseen. Elektronit sen sijaan hyppäivät silloin tällöin radalta toiselle, milloin kauemmas ytimestä (eli ylöspäin), milloin kohti ydintä (eli alaspäin). Elektronin hypättyä ylemmälle radalle koko atomia sanotaan **viritettyksi**. Yksi alemmista radoista on nyt vapaana, jolloin sille pian hyppää sama tai jokin muu ylemmistä elektroneista. Tällöin sanotaan, että atomin viritys laukeaa. Samalla atomi lähettää säteilyä, esim. valoa. Tapahtumaa voidaan verrata esimerkiksi viritettyyn jousipyssyyn, josta virityksen lauetessa lähtee matkaan nuoli. Tavallisesti valoa ajatellaan etenevänä **aaltoliikkeenä**. Esimerkkinä aaltoliikkeestä voimme ajatella vaikkapa kiven heitetyksi tyneen järven pintaan. Renkaan muotoisia aaltoja lähtee etenemään pois päin kiven putoamiskohdasta, ja aaltojen saavuttaessa esim. ongenkohon se alkaa liikkua ylös alas aaltojen heiluttamana. Samoin valon voidaan ajatella etenevän aaltolina joka suuntaan, ja voivan aiheuttaa jonkinlaista "heilautelua", esim. silmän verkkokalvon atomissa siihen osuessaan. Kahden perättäisen aallon välimatkaa, mitattuna aallonharjalta seuraavalle aallonharjalle, kutsutaan kyseessä olevien aaltojen **aallonpituudeksi**. Valo on erikoistapaus yleisemmästä säteilymuodosta, jota kutsutaan **sähkömagneettiseksi säteilyksi**. Tarkemmin sanoen, sähkömagneettista säteilyä sanotaan valoksi, jos ihmisen silmä pystyy sitä havaitsemaan, ja ihmissilmä pystyy sitä havaitsemaan siinä tapauksessa, että säteilyn aallonpituus on neljän ja seitsemän millimetrin kymmenestuhannesosan välillä. Tavallisessa valkoisessa valossa on suunnilleen yhtä paljon kaikkia e.m. välin aallonpituuksien valoaaltoja. Jos taas valossa on pääasiassa lyhyitä aallonpituuksia (aallonpituus 4–5 millimetrin kymmenestuhannesosaa), näemme valon violetina tai sinisenä, ja jos valoaaltojen aallonpituudet ovat pitkiä (6–7 millimetrin kymmenestuhannesosaa), näemme valon punaisena. Muut tavallisesti eroittamamme värit ja värisävyt koostuvat valoaalloista, joissa on eri aallonpituuksia vaihtelevissa suhteissa. Jos säteilyn aallonpituudet ovat vieläkin lyhyempiä kuin lyhimät silmän havaitsemat aallonpituudet, kutsutaan säteilyä **ultraviolettisäteilyksi**. Sitä säteilyä, jonka aallonpituudet ovat valon aaltoja pitempiä, kutsutaan puolestaan **infrapunasäteilyksi** eli lämpösäteilyksi (koska voimme aistia sitä ihollamme lämpönä). Jokapäiväisestä elämästä hyvin tuntemamme säteilymuodot, **röntgensäteily** ja **radioaallot**, ovat myös samaa sähkömagneettista säteilyä. Röntgensäteiden aallonpituudet ovat vieläkin pienempiä kuin ultraviolettisäteiden, kun taas radioaaltojen aallonpituudet ovat vieläkin suurempia kuin infrapunasäteilyn aallonpituudet. Siis ainoa ero, mikä kaikilla edellä mainituilla säteilymuodoilla on toistensa suhteen, on niiden erisuuret aallonpituudet, niin ihmeelliseltä kuin se

tuntuukin, kun ajattelee esim. röntgen- ja lämpösäteilyjen täysin erilaista vaikutusta ihmisen elimistöön.

Kun eri aallonpituudet asetetaan asteikolle suuruusjärjestykseen, saadaan sähkömagneettisen säteilyn **spektri** (taulukko 1). Kun tavallisesti puhutaan spektristä, esim. jonkin tähden spektristä, silloin tarkoitetaan yleensä vain osaa koko sähkömagneettisesta spektristä. Tähden näkyvän valon spektri esimerkiksi voidaan muodostaa valokuvauslevylle kaukoputken yhteyteen asetetun prisman avulla, joka automaattisesti järjestää aallonpituudet (eli eri värit) suuruusjärjestykseen (kuva 2).



Taulukko 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri. Oikealla on asteikko, joka ilmoittaa aallonpituuden, ja keskeltä voi katsoa, millä nimellä vastaavan aallonpituista säteilyä kutsutaan. Kuten huomataan, röntgensäteilyn ja gammasäteilyn välillä ei ole selvää rajaa. Kuvaan on myös merkitty ne aallonpituudet, joita käytetään TV-lähetyksissä ja tavallisissa radiolähetyksissä (keskipitkä aaltoalue).



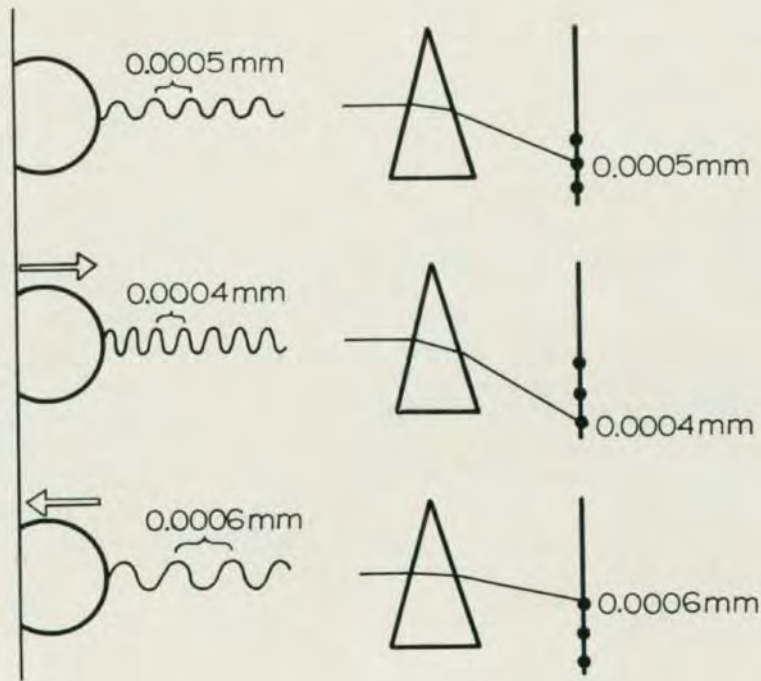
Kuva 2. Tähden spektrin muodostuminen valokuvauslevylle. Prismaan tuleva valo koostuu kaikista 4:n ja 8:n kymmenestuhannesosamillimetrin välillä olevista aallonpituuksista, jotka prisma sitten erottaa toisistaan. Objektiivi muodostaa tähden kuvan valokuvauslevylle kaikilla tähdestä tulevan valon aallonpituuksilla.

Atomien virittyminen tapahtuu niiden törmätessä toisiinsa tai sopivan pituisten sähkömagneettisten aaltojen osuessa atomiin. Tarkemmin sanoen, aallonpituus on sopiva atomin virittämiseen silloin, kun se on sama kuin sen säteilyn aalloilla, jota atomi lähettää elektronin hypätessä ylemmältä radalta alemmalle. Atomi tavallaan imee säteilyä virittyessään, ja se on juuri samaa säteilyä kuin mitä atomi lähettää virityksen lauetessa. Jos lämpötila on hyvin korkea, useita tuhansia asteita, kaikki tavalliset aineet ovat höyrystyneet kaasuksi, jossa kaasun atomit törmäilevät edestakaisin kovalla vauhdilla. Mitä korkeampi on kaasun lämpötila, sitä suurempia ovat kaasun atomien nopeudet, ja sitä kovemmalla voimalla ne iskeytyvät toisiaan vastaan. Törmäyksen voimasta yksi tai useampia kunkin atomin elektroneista saattaa iskeytyä kokonaan irti atomista ja lähteä viilettämään omille teilleen. Riittävän korkeissa lämpötiloissa mikään elektroni ei voi enää pysyä ydintä kiertämässä, vaan ne kaikki törmäilevät sikin sokin ydinten seassa. Juuri tällaista ydinten ja elektronien muodostamaa puuroa (kirjakaalla sähkömagneettisella säteilyllä maustettuna) on aine tähtien sisemmissä osissa, missä lämpötilat ovat miljoonia asteita.

LÄHESTYMIS- JA ETÄÄNTYMISNOPEUDEN MITTAAMINEN

Tähtien ja galaksien etääntymis- tai lähestymisnopeus voidaan mitata varsinkin tarkasti niiden spektrin avulla. Ajatelkaamme vaikkapa tähteä lähettämässä valoa meitä kohden yhdellä aallonpituudella (kuva 3). Jos tähti liikkuu meitä

kohti (keskimmäinen kuva), voidaan sen ajatella tullessaan puristavan valoaaltoja kokoon muuttaen siten valon aallonpituuden alkuperäistä pienemmäksi. Vastaavasti meistä poispäin liikkuvan tähden (alin kuva) voidaan ajatella venyttävän valoaaltoja mennessään. Sen seurauksena näemme valon alkuperäistä pitempiaaltoisena eli punaisempana. Mitä suuremmalla nopeudella tähti liikkuu meihin verrattuna, sitä enemmän valoallot puristuvat tai venyvät, ja sitä kauemmaksi saapuva valoalto siirtyy alkuperäiseltä paikaltaan spektrissä. Kuvassa 3 on esimerkin vuoksi ajateltu tähden lähettämän valon aallonpituuden olevan 0.0005 mm (vihreää valoa). Jos kuitenkin tähti lähestyisi meitä kovalla vauhdilla, näkisimme saapuvan valon lyhyempiaaltoisena, esim. havaitsemamme aallonpituus saattaisi olla 0.0004 millimetriä (violettia valoa). Jos taas tähti loittonisi meistä yhtä kovalla vauhdilla, näkisimme sen punaisena, aallonpituudella 0.0006 mm.



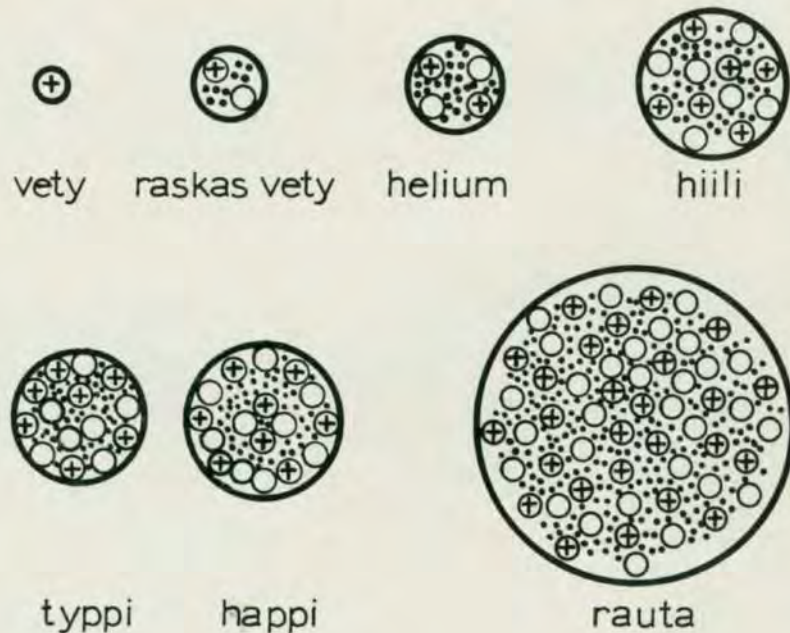
Kuva 3. Valonlähteen liikkeen vaikutus havaittuun aallonpituuteen. Ylimmässä kuvassa valonlähde (tähti) ei liiku havaittajan suhteen, keskimmaisessä tähti liikkuu kohti havaittajaa ja alimmaisessa kuvassa havaittajan poispäin. Oikealla on merkitty ne kohdat spektristä, joihin valo osuu kussakin tapauksessa.

Tähän perustuen voimme laskea minkä tahansa tähden nopeuden meitä kohti tai meistä poispäin mittaamalla, kuinka kauas tähden valo on siirtynyt spektrissä verrattuna sen alkuperäiseen paikkaan. Vaikeutena on kuitenkin tietää, millä aallonpituudella havaitsemamme valo on matkaan lähtenyt, sillä tähdet eivät säteile vain yhdellä vaan käytännöllisesti katsoen kaikilla aallonpituuksilla. Usein osoittautuikin hyödyllisemmäksi kiinnittää huomiota niihin aallonpituuksiin, joilla tähti säteilee vain vähän tai ei ollenkaan. Kuten aikaisemmin selitettiin, atomit voivat virittyä, kun niihin osuu sähkömagneettista säteilyä (esim. valoa), jolla on sopiva aallonpituus. Tähtien valo joutuu kulkemaan tähteä ympäröivän ohuen kaasukerroksen läpi, jolloin osa valosta jää virittämään kaasun atomeja. Tarkemmin sanoen, juuri se osa valosta, jolla on viritykseen sopiva aallonpituus. Tähdessä tullutta valoa tutkittaessa huomataan, että siitä puuttuu osittain tai kokonaan viritykseen sopiva aallonpituus. Spektrin valokuvassa näkyy sillä kohdalla musta viiva, jota kutsutaan imeytymisviivaksi (atomit ovat "imeneet" valon pois tältä spektrin kohdalta). Imeytymisviivoja on tähtien spektreissä runsaasti, koska jokainen atomi voi virittyä usealla eri tavalla, joista jokaiseen tarvitaan eri aallonpituudella saapuvaa säteilyä. Kaasussa on myös useampia eri alkuaineita, joista jokaisella on omat viritysaallonpituutensa ja siis tähden spektrissä omat viivansa. Tähtien ja niistä koostuvien galaksien valossa on alunperin tällaisia puuttuvia aallonpituuksia täysin määräytyissä kohdissa. Tutkimalla näiden imeytymisviivojen paikkoja havaitsemassamme spektrissä saamme selville, kuinka paljon ne ovat siirtyneet paikaltaan ja mihin suuntaan. Siirtymien määrä kertoo sitten tähtien ja galaksien liikkeen nopeudet.

ATOMIEN YTIMET

Atomien ytimetkään eivät ole jakamattomia hiukkasia. Tutkimukset ovat osoittaneet, että ydin muodostuu yleensä kahdesta eri hiukkaslajista, **protoneista** ja **neutroneista**. Protonit ja neutronit ovat likipitään samankokoisia; niiden massa on lähes kaksituhatta kertaa suurempi kuin elektronin massa. Protonin ja neutronin tärkein ero on niiden sähköisyydessä: protoni on altis sähköisille voimille kun taas neutroni ei niitä tunne. Hiukkasella, joka tuntee sähköisten voimien vaikutuksen, sanotaan olevan **sähkövaraus**. Sähkövarauksia on kahta lajia, joita sanotaan **positiiviseksi** ja **negatiiviseksi**. Sähköinen voima vaikuttaa varattujen hiukkasten välillä siten, että hiukkaset vetävät toisiaan puoleensa mikäli niiden sähkövaraukset ovat eri merkkiset (toinen positiivinen ja toinen negatiivinen), ja työntävät toisiaan poispäin mikäli niiden sähkövaraukset ovat saman merkkiset (molemmat positiivisia tai molemmat negatiivisia). Esimerkiksi protonilla on positiivinen ja elektronilla negatiivinen sähkövaraus, joten ne siis vetävät toisiaan puoleensa. Niinhän pitää tietysti

ollakin: elektronit kiertävät ytimiä, koska niiden ja ytimen protonien välillä vaikuttaa vetovoima. Kuinka sitten useampia protoneja voi pysyä samassa ytimessä, kun ne kaikki ovat positiivisesti varattuja, ja niiden välillä siis vaikuttaa keskinäinen poistovoima? Ytimiä pitää koossa **ydinvoima**, joka on paljon voimakkaampi kuin sähköinen voima. Ydinvoiman voidaan ajatella aiheutuvan protonien ja neutronien välissä olevasta "liima-aineesta", hiukkasista, joita kutsutaan **pioneiksi**. Pionien massa on pienempi kuin protonin tai neutronin, mutta kuitenkin lähes kolme sataa kertaa suurempi kuin elektronin massa. Yksinkertaisin ydin on vetyatomin ydin, joka muodostuu yhdestä protonista (kuva 4). Seuraavaksi yksinkertaisin on ydin, jossa on yksi protoni ja yksi neutroni pionien kiinni pitäminä. Koska yksi protoni jaksaa pitää kiertoradalla vain yhden elektronin, on tämänkin ytimen muodostamaa alkuainetta kutsuttava vedyksi. Erotukseksi tavallisesta vedystä sitä kutsutaan raskaaksi vedyksi, koska sen atomit painavat kaksi kertaa enemmän kuin tavallisen vedyn atomit. Kuvassa 4 on esitetty esimerkin vuoksi myös muutamien muiden alkuaineiden ytimiä. Huomaamme, että ytimessä on yhtä monta protonia kuin k.o. atomissa on elektroneja. Neutroneja on yleensä yhtä monta tai hiukan useampia kuin protoneja.



Kuva 4. Esimerkkejä atomien ytimistä.
⊕ = protoni, ○ = neutroni, * = pionit.

ALKEISHIUKKASET

Onko vielä protonilla, neutronilla ja pionilla oma rakenteensa, vai ovatko ne jo luonnon jakamattomia perusosasia? Tällä hetkellä näyttää siltä, että nekin koostuvat vielä pienemmistä osista, mutta mitä ne pienemmät osat sitten olisivat on vielä toistaiseksi epäselvää. Joka tapauksessa näyttää mahdolliselta, että protonit ja pionit voivat **virittyä**, samalla tavoin kuten atomi virittyy elektronin hypätessä ylemmälle radalle. Virittyneillä protoneilla on suurempi massa kuin protonilla itsellään, ja monet muutkin ominaisuudet saattavat poiketa protonin vastaavista ominaisuuksista niin paljon, että eri tavoin virittyneitä protoneita voitaisiin yhtä hyvin pitää myös eri hiukkasina. Sama koskee myös virittyneitä pioneja (neutronia myös voidaan pitää protonina, joka on virittynyt). Protoneja, pioneja ja kaikkia niistä virittymällä syntyneitä hiukkasia kutsutaan yhteisellä nimellä **hadroneiksi**. Pioni on massaltaan pienin hiukkanen hadronien joukossa. Toista ryhmää hiukkasia, jotka kaikki ovat pionia pienempiä, kutsutaan **leptoneiksi**. Leptoneita ovat elektroni, **neutrino** ja n.s. **myoni**. Myoni on muuten täsmälleen samanlainen kuin elektroni paitsi, että se on yli kaksi sataa kertaa raskaampi. Neutrino (nimi tarkoittaa "pikku neutroni"), kuten neutronikin, on sähkötön hiukkanen, mutta se on paljon neutronia kevyempi, vieläpä paljon elektroniakin kevyempi. Itse asiassa se on niin kevyt, että on mahdollista, että

Taulukko 2.

Alkeishiukkaset

	Massa	Sähkövaraus
Leptonit:		
neutrino	0	0
elektroni	1	-1
myoni	207	-1
Hadronit:		
pioni	274	+ 1
protoni	1836	+ 1
neutroni	1838.5	0

sen massa on täsmälleen nolla (mittausten avulla ei voi näyttää toteen, että massa on täsmälleen nolla; varmasti voidaan sanoa vain, että se on erittäin pieni). On vaikea kuvitella, minkälainen on ainehiukkanen, jonka massa eli ainemäärä on nolla, mutta kaikesta huolimatta neutronin olemassaolo on pystytty varmasti osoittamaan. Tosin neutrinot tekevät parhaansa välttääkseen ilmitulon. Koska sähköiset voimat sen enempiä kuin ydinvoimat eivät vaikuta neutrinoon, se voi kulkea varsin vapaasti aineen atomien läpi. Joka hetki suuri määrä neutrinoja kulkee meidän jokaisen lävitse ja maapallon lävitse ihan niinkuin niiden tiellä ei mitään estettä olisikaan. Vasta silloin, jos aine on puristettu kokoon niin tiheäksi, että atomit ja ytimet ovat murskautuneet ja ainehiukkaset ovat lähellä toisiaan, alkaa neutrinojen eteneminen vaikeutua. Kaikkia edellä lueteltuja hiukkasia, leptoneja ja hadroneja, kutsutaan yhteisellä nimellä **alkeishiukkasiksi**. Taulukossa 2 on lueteltu niiden massat ja sähkövaraukset elektroniin verrattuna, jonka massa on merkitty ykkösellä ja varaus -1:llä.

ANTIAINE

Näiden tavallisten alkeishiukkasten lisäksi on olemassa joukko harvinaisempia hiukkasia, joita kutsutaan edellisten **antihhiukkasiksi** (anti- = vasta-, antihhiukkasia voitaisiin siis kutsua myös vastahiukkasiksi). Jokaista alkeishiukkasta vastaa tietty antialkeishiukkanen. Esimerkiksi elektronia vastaa hiukkanen jota kutsutaan antielektroniksi tai **positroniksi**, koska sillä on positiivinen sähkövaraus (päinvastoin kuin elektronilla, jolla on negatiivinen varaus). Yleensäkin hiukkasella ja sitä vastaavalla antihhiukkasella on vastakkaismerkkiset sähkövaraukset, ja jos hiukkasella ei ole sähkövarausta ollenkaan, ei sitä myöskään ole vastaavalla antihhiukkasella. Kun elektroni ja positroni kohtaavat, ne tuhoavat toisensa. Ainoa mitä niistä jää jäljelle, on erittäin lyhytaaltoista sähkömagneettista säteilyä. Tämän säteilyn aallonpituus on noin miljoonasosa valon aallonpituudesta, ja sitä kutsutaan **gammäsäteilyksi**. Gammäsäteilyn aallonpituudet ovat vieläkin pienempiä kuin röntgensäteilyn, kuten käy ilmi taulukosta 1. Vastaavasti kuin elektroni ja positroni myös protoni ja sen antihhiukkanen, **antiprotoni**, tuhoavat toisensa, vaikkakin niiden tuhoutumistapahtuma on monimutkaisempi ja niistä jää jäljelle muutakin kuin pelkkää sähkömagneettista säteilyä. Sama koskee myös muita hiukkanen-antihhiukkanenpareja; kohdatessaan ne tuhoavat toisensa. Tästä niiden ilmeisen vihamielisestä asenteesta toisiaan kohtaan johtuu, että hiukkaset ja antihhiukkaset eivät voi elää rauhanomaista rinnakkaiseloa samassa maailmassa tai ainakaan samassa maailman osassa. Niinpä kaikki maapallomme rakenteet, atomit ja ytimet, ovat muodostuneet tavallisista hiukkasista, ja antihhiukkaset voivat esiintyä täällä vain häviävän lyhyiden hetkien ajan. Periaatteessa voisi

olla olemassa muita maailmoja, joissa atomit ovat muodostuneet antihhiukkasista, positronien kiertäessä negatiivisesti sähköisten, antiprotoneista ja antineutroneista koostuvien ydinten ympäri. Kauempaa katsottuna tavallisten atomien ja antihhiukkasista koostuvien atomien välillä ei voisi havaita mitään eroa, ja samoin emme voi varmasti sanoa, ovatko kaukaiset galaksit tehty tavallisesta aineesta vai **antiaineesta** (kuten antihhiukkasista koostuvaa ainetta kutsutaan). Vasta päästessämme kosketuksiin vieraasta maailmasta kotoisin olevan aineen kanssa voimme varmasti sanoa, onko se ainetta vai anti-ainetta. Voimme kuvitella maapallolta kotoisin olevan avaruusmiehen kohtaavan anti-aineen maailmasta lähteneen avaruusmiehen jossain **tyhjän** avaruuden kolkassa. Pahaa aavistamatta nämä kaksi ehkä **koskettaisivat** toisiaan ja tuhoutuisivat siinä silmänräpäyksessä!

ALKEISHIUKKASTEN SYNTYMINEN JA TUHOUTUMINEN

Elektroni ja positroni kohdatessaan siis muuttuvat gammasäteilyksi. Päinvastoin, gammäsäteily voi suotuisissa olosuhteissa muuttua elektroniksi ja positroniksi. Samoin muut tuhoutumisilmiöt voivat tapahtua myös päinvastaiseen suuntaan: sopivissa olosuhteissa syntyy hiukkanen-antihhiukkanen-pareja. Esimerkiksi kahden protonin törmätessä vastakkain riittävän kovalla voimalla voi seurauksena olla protonin ja antiprotonin syntyminen. Niinpä jos lämpötila on erittäin korkea, jolloin hiukkaset törmäilevät toisiaan vastaan kovalla voimalla, ja jos aine on puristettu hyvin tiukkaan, jolloin törmäyksiä tapahtuu aivan yhtä mittaa, niin saattaa olla, että hiukkas-antihhiukkas-pareja syntyy yhtä nopeassa tahdissa kuin niitä ehtii tuhoutua. Tällaisissa olosuhteissa olisi siis mahdollista hiukkasten ja antihhiukkasten esiintyä yhtä suurina määrinä (jonkinlaisen voimatasapainon vallitessa riitakumppanien välillä).

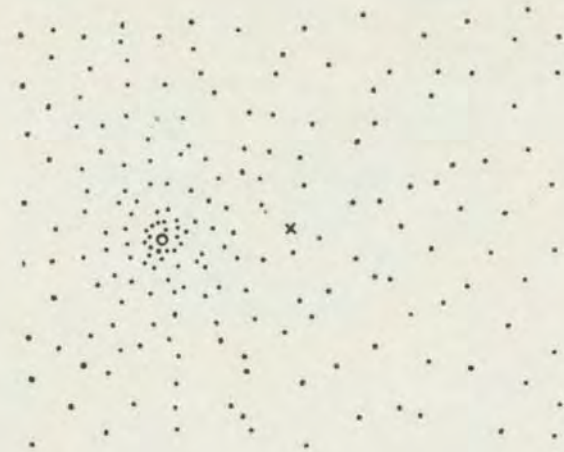
Jos protonin annetaan olla rauhassa, se pysyy samanlaisena vaikka kuinka kauan. Samoin neutrino ja elektroni eivät muutu miksiäkään, jollei niille satu mitään erikoista (kuten yhteentörmäys antihhiukkasen kanssa, esimerkiksi). Sen sijaan neutronilla on elinaikaa parhaassa tapauksessakin vain muutamia kymmeniä minuutteja sen jälkeen kun se on jostain syystä jättänyt turvallisen ytimen. Mikäli se taas malttaisi pysyä ytimen sisällä, se olisi aivan yhtä ikuinen kuin protonikin. Edellä mainitun ajan kuluttua neutroni **hajoaa** protoniksi, elektroniksi ja anti-neutrinoksi. Samoin kaikki muutkin alkeishiukkaset, edellä mainittua kolmea lukuunottamatta, hajoavat itsestään ennemmin tai myöhemmin. Myöskin hajoaa itsestään noin miljoonasosasekunnin kuluttua syntymästään. Kun pioni löydetään ytimen ulkopuolelta, sen elin aika on vieläkin lyhyempi, vain noin sadasosa myöskin elinajasta. Jos lämpötila on tarpeeksi korkea ja hiukkaset puristuneet riittävän likelle toisiaan, syntyy **myös** myöneja ja pioneja yhtä nopeaan kuin niitä hajoaakin, joten näissä olosuhteissa

on niidenkin mahdollista esiintyä suurissa määrin. Virittyneet pionit ja protonit laukeavat vieläkin lyhyemmän ajan kuluttua virittymisestäään, joten tarvitaan korkea lämpötila ja aineen suuri tiheys jotta niitäkin esiintyisi suuremmissa määrin. Lukuisissa voimakkaissa törmäyksissä pionit ja protonit virittyvät yhtä nopeassa tahdissa kuin tapahtuu viritysten laukeamisiakin. Tämä korkea kuumuus tiukkaan puristuneessa aineessa on juuri sellainen tila, mikä luultavasti vallitsi maailmankaikkeudessa pian sen syntymisen jälkeen. Seuraavassa luvussa tutustumme siihen todistusaineistoon, minkä perusteella on päätelty maailmamme joskus olleen siinä tilassa.

III MAAILMANKAIKKEUDEN RAKENNE JA SYNTY

GALAKSIT JA AVARUUDEN RAKENNE

Nykyisen käsityksemme mukaan galaksijoukot muodostavat luonnon suurimman rakennusosan. Niiden ei enää ole havaittu kasaantuvan suuremmiksi kokonaisuuksiksi vaan ne täyttävät avaruuden suurin piirtein tasaisin välein. Itse asiassa, ainoa seikka, mikä voidaan suoraan havaita, on galaksijoukkojen suunta taivaalla. Kaukaisien galaksijoukkojen etäisyyksiä on vaikea arvioida kovin tarkasti, joten päätelmä galaksijoukkojen tasaisesta jakautumisesta avaruuteen perustuu ensi sijassa niiden havaittuun tasaiseen jakautumiseen kaikille taivaan suunnille. Galaksijoukkoja näyttää olevan kaikissa suunnissa yhtä tiheässä, ja muutenkaan ei näytä olevan mitään eroa eri suunnilla (verrattaessa esim. galaksien ominaisuuksia). Tästä ei vielä voi päätellä, että galaksijoukot todella olisivat tasaisesti jakautuneena avaruuteen; saattaisi olla niinkin, että ne vain näyttäisivät olevan tasaisin välein. Kuvassa 5 on esitetty eräs tällainen mahdollisuus. Kuvan pisteet esittävät galaksijoukkoja siten kuin voisimme kuvitella ne näkevämmme, jos pääsisimme tarkastelemaan avaruuttamme jostain sen ulkopuolelta. Oma Linnunratamme on merkitty ympyrällä, ja kuten huomaamme, siinä oleva katselija näkisi pisteitä joka suunnassa yhtä paljon, ja tekisi siis helposti sen harhapäätelmän, että pisteitä on joka paikassa yhtä tiheässä. Jos galaksijoukot todella olisivat näin ”petollisesti” sijoittuneet avaruuteen, niin silloin avaruus näyttäisi samanlaiselta kaikissa suunnissa ainoastaan meidän Linnunradastamme käsin. Mistä tahansa muusta (kaukaisesta) galaksista katsottuna toisissa suunnissa näkyisi galaksijoukkoja tiheämmässä kuin toisissa. Kuvassa 5 on ristillä merkitty erästä etäistä galaksijoukkoa, josta käsin ajatellaan samaa avaruutta katsotuksi. Selvästikin siellä oleva havaitsija näkisi enemmän pisteitä Linnunradan suunnassa kuin päinvastaisessa suunnassa. Näin joutuisimme omituiseen tilanteeseen: meidän olisi oletettava kaikkien galaksijoukkojen ryhmittyneen oman galaksimme



Kuva 5. Avaruus, jossa galaksijoukot eivät ole tasaisesti jakautuneet. Kukin piste esittää kaukaista galaksijoukkoa, merkki o Linnunrataa ja x erästä toista (mitä tahansa) galaksia kaukaisessa joukossa. Linnunradasta katsottuna näkyy yhtä paljon joukkoja joka suunnassa, kun taas toisesta joukosta katsottuna näkyy enemmän joukkoja Linnunradan suunnassa kuin päinvastaisessa suunnassa.

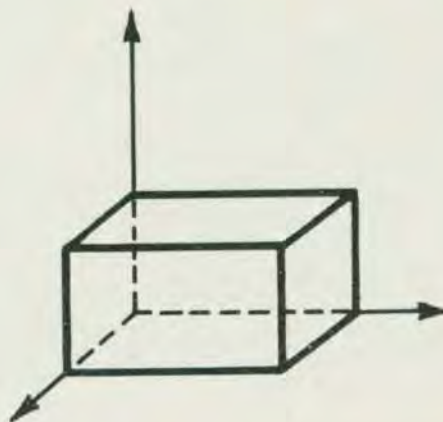


Kuva 6. Avaruus, jossa galaksijoukot ovat tasaisesti jakautuneet. Avaruus näyttää samanlaiselta sekä Linnunradasta että mistä muusta galaksista tahansa katsottuna.

suhteen symmetrisesti; eli Linnunrata olisi jonkinlainen maailman keskus, koska juuri Linnunrata kaikkien lukemattomien galaksien joukosta ainoana olisi se paikka, josta käsin katsottuna avaruus on joka suunnassa samanlainen. Kokemuksesta jo tiedämme, että tällaiset maakeskeiset teoriat yleensä osoittautuvat vääriksi, ja niinpä tässäkin yhteydessä ei ole olemassa mitään havaintoja, jotka tukisivat tätä käsitystä. Toinen vaihtoehto on, että galaksijoukot todella ovat avaruudessa tasaisin välein. Kuvassa 6 on esitetty, miltä jälkimmäisen vaihtoehdon mukainen avaruus näyttäisi ulkopuolisen silmin. Jos taas ajattelemme havaitсия joko Linnunradassa (ympyrä) tai jossain muussa galaksissa (risti), niin molemmista paikoista näkyy pisteitä yhtä tiheässä joka suunnassa. Tällaista avaruutta kutsutaan **homogeeniseksi**.

AVARUUDEN KAAREVUUS

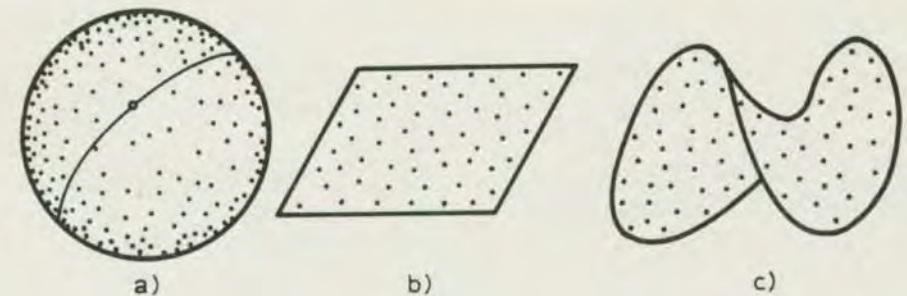
Homogeenisiä avaruuksia voi olla kolmea päälajia riippuen avaruuden kaarevuudesta. Avaruuden kaarevuus on asia, josta voi saada mielikuvan vain esimerkin avulla. Tavallisesti ajattelemme avaruuttamme kolmiulotteisena, eli katsomme, että on olemassa kolme (eikä yhtään enempää) kohtisuoraa suuntaa. Niitä voimme kutsua vaikkapa pituudeksi, leveydeksi ja korkeudeksi. Ajatelkaamme esimerkiksi suorakulmaista laatikkoa (kuva 7). Laatikon kaksi pohjasärmää ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan, ja määräävät siis kaksi avaruuden kohtisuoraa suuntaa. Laatikon korkeussuunta on puolestaan kahta edellä mainittua suuntaa vastaan kohtisuorassa ja määrää siis avaruuden kolmannen perussuunnan eli ulottuvuuden. Mitään neljättä suuntaa emme voi keksiä, joka olisi vielä kaikkia kolmea edellistä vastaan kohtisuorassa. Jos jätämme kolmannen eli korkeussuunnan pois laskuista, saamme kaksiulotteisen tapauksen. Esim. paperille piirretty kuva on kaksiulotteinen; sillä ei ole



Kuva 7.

syvyyttä (enempää kuin minkä mielikuvitus voi sille antaa). Yleensäkin kaikkia pintoja voidaan pitää kaksiulotteisina. Pinnalle voidaan ajatella vain kaksi kohtisuoraa suuntaa; kolmas kohtisuora suunta osoittaa aina pois pinnalta, eikä siis kuulu pinnan suuntien joukkoon. Pinta voi olla joko tasainen kuten pöytälevy tai kaareva kuten pallon pinta. Toinen kaarevuustyyppi on meille tuttu hevosen satulasta, jonka pinta kaareutuu aivan eri tavalla kuin pallon pinta. Kuvitelkaamme satulapinnan jatkuvan samalla tavoin kaareutuvana äärettömän kauas. Silloin sanomme, että se muodostaa **kaksiulotteisen avaruuden**. Samoin joka suuntaan äärettömän kauas jatkuva tasopinta muodostaa kaksiulotteisen avaruuden, jota voimme kutsua **suoraviivaiseksi** erotuksena kaarevasta satulapinnasta tai pallopinnasta. Myös pallon pinta kokonaisuudessaan muodostaa kaksiulotteisen avaruuden, jota kutsutaan **suljetuksi**, koska sillä on aina täysin määrätty pinta-ala. Äärettömän kauas ulottuvat tasopinta ja satulapinta ovat tietenkin äärettömän suuria, jonka vuoksi niitä sanotaan **avoimiksi**. Kuvassa 8 on esitetty kaksiulotteisen avaruuden eri tapaukset.

Huvin vuoksi voimme ajatella, että on olemassa kaksiulotteisia olentoja, jotka asuvat suuren pallon pinnalla. Sen paremmin heillä itsellään kuin millään heidän maailmansa esineellä ei olisi korkeutta laisinkaan; toisin sanoen he olisivat kuin pallon pinnalle heijastetut kuvat, jotka voivat liikkua eri paikkoihin pinnalla, mutta jotka eivät pääse hiukkaakaan pinnan yläpuolelle tai



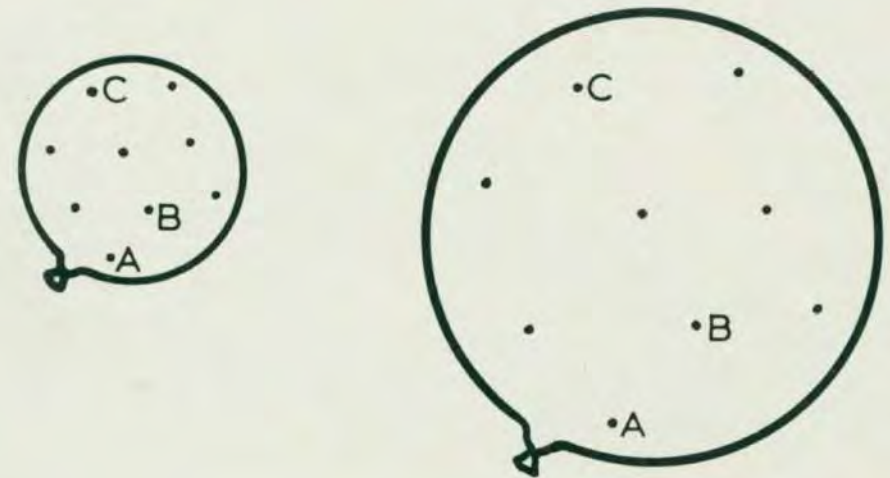
Kuva 8. Kaksiulotteisen avaruuden eri tapaukset: pallopinta a, äärettömän kauas jatkuva tasopinta (josta osa kuvassa b) ja äärettömän kauas jatkuva satulapinta (josta osa kuvassa c).

alapuolelle. Näiden olentojen käsitemaailmasta puuttuisi ilmeisesti kokonaan korkeuden käsite. Jos heille joku selittäisi, että avaruus onkin kolmiulotteinen ja että he itse asiassa asuvat suuren pallon pinnalla, he saattaisivat uskoa asian niin olevan tarkkojen tutkimusten jälkeen, mutta eivät koskaan voisi ymmärtää kolmiulotteista avaruutta. Heidän mielikuvansa avaruudesta olisi joka tapauksessa, että se on tasomainen (suoraviivainen) kaksiulotteinen avaruus. Paljon paremmin ei ole meidän itsemmekään laita. Tutkimuksissa on nimittäin osoittautunut, että avaruutemme voidaan paremmin tulkita neliulotteiseksi kuin kolmiulotteiseksi. Neljäs ulottuvuus eli kohtisuora suunta on se, mihin aika kulkee. Me emme voi ymmärtää, miten ajan suunnalla voisi olla mitään tekemistä avaruuden kolmen muun kohtisuoran suunnan kanssa yhtä vähän kuin kaksiulotteiset ystävämme voivat ymmärtää, miten korkeussuunta voi olla kohtisuorassa tason kahta muuta kohtisuoraa suuntaa vastaan. Samoin emme voi ymmärtää, mitä tarkoittaa kolmiulotteisen avaruutemme kaarevuus, koska olemme aina oppineet pitämään sitä suoraviivaisena aivan kuten kaksiulotteiset oliot pitävät omaa pallopintaansa suoraviivaisena. Jotta voisimme saada edes jonkinlaisen kuvan kolmiulotteisten ”pintojen” kaareutumisesta neliulotteisessa avaruudessa, täytyy meidän aina ajatella kaksiulotteisten pintojen kaareutumista kolmiulotteisessa avaruudessa. On osoittautunut, että homogeeninen kolmiulotteinen avaruus voi kaareutua kolmella eri tavalla, jotka vastaavat kaksiulotteisen pinnan kuvassa 8 esitettyä kolmea kaarevuuden lajia. Avaruutemme on joko suljettu, jolloin sillä on tietyn suuruinen tilavuus, mutta ei kuitenkaan reunaa missään suunnassa (samoin kuin pallon pintaa pitkin kuljettaessakaan ei reuna tule koskaan vastaan); tai se on avoin, jolloin se on äärettömän laaja. Avoimia avaruuksia on kahta lajia, suoraviivaisia (vastaten meidän tavallista mielikuvaamme avaruudesta) ja kaarevia (kolmiulotteinen ”satulapinta”). Mitään avaruuden ”reunaa” ei ole olemassa missään e.m. tapauksista.

LAAJENEVA AVARUUS

Kaikki edellä ollut päättelymme avaruuden kaarevuudesta perustui ainoastaan yhteen havaintotulokseen (joka tosin on varmistettu yhä uudestaan ja uudestaan monilla eri tavoilla), jonka mukaan avaruus näyttää samanlaiselta kaikissa suunnissa. Toiseen yhtä tärkeään havaintoon päädytään luonnollista tietä, kun ryhdytään miettimään, mitä pitäisi tapahtua edellä kuvatun kaltaisessa homogeenisessa avaruudessa yleisen vetovoiman eli gravitaatiovoiman vaikuttaessa galaksien ja galaksijoukkojen välillä. Vetovoima pyrkii vetämään niitä lähemmäksi toisiaan, joten meidän pitäisi havaita galaksien ja galaksijoukkojen liikkuvan meitä kohti. Todellisuudessa ne kuitenkin näyttävät liikkuvan meistä poispäin, vieläpä niin, että kauempana olevat galaksijoukot

etääntyvät suuremmalla nopeudella. Tätä ilmiötä on vaikea selittää muuten kuin avaruuden yleisestä laajenemisesta johtuvaksi. Jos homogeenisessa avaruudessamme (kuva 6) pisteiden (galaksijoukkojen) välimatka kasvaa joka paikassa tasaisesti samalla nopeudella, niin silloin mistä tahansa yksittäisestä pisteestä katsottuna kaikki muut pisteet näyttävät pakenevan poispäin. Esimerkkinä voimme ajatella täpliä piirrettyksi ilmapallon pinnalle tasaisin välein (kuva 9). Kun palloon puhalletaan ilmaa, sen pinta venyy, ja riippumatta siitä mistä täplästä käsin asiaa tarkastellaan, kaikki muut täplät näyttävät liikkuvan tarkastelijasta poispäin. Olkoon katsoja täplässä A. Silloin täplä B näyttää liikkuneen samassa ajassa lyhyemmän matkan kuin täplä C, joka on kauempana, eli C siis näyttää pakenevan suuremmalla nopeudella A:sta poispäin. Näin siis avaruuden yleinen laajeneminen selittää luonnollisella tavalla sen, miksi kauempana olevat galaksijoukot näyttävät pakenevan suuremmalla nopeudella.



Kuva 9. Ilmapallon pinta laajenevan avaruuden esittäjänä. Kun pallo laajenee, kaukana oleva piste C näyttää etääntyvän pidemmän matkan samassa ajassa kuin piste B katsottuna pisteestä A.

PUNASIIRTYMÄ

Galaksien pakonopeudet on mitattu niiden spektrien avulla kuten edellä on selitetty. Imeytymisviivat spektrissä ovat siirtyneet suurempien aallonpituuksien suuntaan eli punaiseen päin. Sen vuoksi galakseilla sanotaan olevan **punasiirtymä**, jonka lukuarvo lasketaan seuraavalla tavalla: Ensimmäin mitataan, kuinka paljon jonkin imeytymisviivan aallonpituus poikkeaa alkuperäisestä, jonka jälkeen jaetaan poikkeama alkuperäisellä aallonpituudella. Kuvan 3 esimerkkitapauksessa aallonpituuden muutos oli $0.0006 - 0.0005 = 0.0001$ millimetriä, joka vielä jaetaan alkuperäisellä aallonpituudella 0.0005 millimetriä: $0.0001/0.0005 = 0.2$, mikä siis on punasiirtymän arvo tässä tapauksessa. Punasiirtymä on sitä suurempi mitä nopeammin galaksi pakenee meistä pois päin, ja toisaalta galaksien on havaittu pakenevan sitä nopeammin mitä kauempana ne ovat. Siis galaksin punasiirtymä on sitä suurempi mitä kauempana se on. Tähän perustuen punasiirtymää voidaan käyttää etäisyyden mittana.

Kaikkein etäisimpien galaksien etäisyyksiä ei muulla tavoin voi mitatakaan. Niiden yhteydessä ei kannata puhua etäisyydestä valovuosina, koska punasiirtymää vastaavaa määrää valovuosia ei voida tarkasti laskea. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että emme tunne avaruutemme kaarevuutta. Tarkoituksenmukaisimmin voimme mitata etäisyyttä suoraan punasiirtymän lukuarvolla. Yllä olevassa esimerkissä punasiirtymä galaksien spektrissä oli 0.2 , jolloin sanomme, että kyseinen galaksi on punasiirtymää 0.2 vastaavalla etäisyydellä (sitä mikä sen etäisyys valovuosina on emme vaivaudu pohtimaan koska emme sitä toistaiseksi tiedä). Punasiirtymän suuruus ilmoittaa myös kuinka paljon pienemmässä mittakaavassa avaruus oli silloin kun valo lähti k.o. galaksista liikkeelle meitä kohti. Tarkemmin sanoen, kun lisätään luku yksi punasiirtymän lukuarvoon, saadaan luku, joka ilmoittaa, kuinka monta kertaa pitempiä ovat galaksijoukkojen välimatkat nykyisin verrattuna niiden välimatkaan valon matkaan lähdön aikana (miljoonia vuosia sitten). Esimerkkigalaksimme punasiirtymä oli 0.2 , ja $0.2 + 1 = 1.2$; siis avaruuden välimatkat ovat kasvaneet 1.2 -kertaiseksi eli 20% sinä aikana, jonka valo tarvitsi kulkeakseen k.o. galaksista meidän luoksemme.

KOLMEN ASTEEN TAUSTASÄTEILY

Galaksijoukot siis kiitävät kovalla vauhdilla eroon toisistaan, vaikka niiden kaiken järjen mukaan pitäisi vetovoiman vaikutuksesta pyrkiä toisiaan kohten. Ilmeisesti täytyy olla olemassa jokin voima, joka ajaa niitä pois päin toisistaan. Jotkut ovat ehdottaneet, että on olemassa massojen välinen yleinen

poistovoima, joka työntää voimakkaimmin kaukana olevia massoja eroon toisistaan, mutta joka ei vaikuttaisi lähekkäin olevien massojen välillä niin voimakkaasti (sillä jos se vaikuttaisi voimakkaasti lähekkäisten massojen välillä, niin se olisi jo aikoja sitten keksitty). Toinen mahdollisuus on, että avaruus oli aikojen alussa hyvin pienessä koossa, josta se sitten valtavan räjähdysksen seurauksena lähti laajenemaan. Vetovoima on sen jälkeen pyrkinyt pysäyttämään aineellisten kappaleiden erkanemisen toisistaan, kuitenkin siinä ainakaan vielä onnistumatta. Kolmas mahdollisuus on tietysti se, että tapahtui ensin räjähdys ja sen jälkeen yleinen poistovoima antaa vielä jatkuvasti lisää vauhtia laajenemiselle. Joka tapauksessa näyttää todennäköiseltä, että avaruuden on täytyntä olla aikaisemmin pienemmässä koossa ja siis kaikki avaruuden aine tiukkaan puristuneena. On hyvin tunnettua, että kun kaasua puristetaan pieneen tilavuuteen, sen lämpötila kohoaa. Samoin avaruuden tiukkaan puristuneen aineen on täytyntä olla korkeassa lämpötilassa. Kuumat kappaleet säteilevät valoa, ja niinpä avaruuden täyttäneen kuuman kaasunkin voidaan olettaa lähettäneen runsaasti säteilyä (valoa ja muuta sähkömagneettista säteilyä). Koska avaruudella ei ole rajoja, ei säteily pääse "vuotamaan" ulos avaruudestamme, vaan jää vaeltelemaan ympäriinsä. Näyttää siltä, että tämä säteily onkin aivan viime vuosina onnistuttu mittaamaan. Se ei kuitenkaan esiinny enää valona vaan huomattavasti pitempiaaltoisena säteilynä, radioaalloilla. Sitä kutsutaan mikroaaltotaustasäteilyksi (koska sitä saapuu eniten lyhimmillä radioaalloilla, joita kutsutaan mikroaalloiksi) tai **kolmen asteen taustasäteilyksi**. Taustasäteilyksi sitä kutsutaan, koska se ei näy saapuvan mistään erillisestä suunnasta, vaan se on havaittavissa joka suunnassa yhtä voimakkaana säteilynä. Se häiritsee m.m. televisiolähetyksiä aiheuttaen osan kuvaruudussa näkyvästä "lumisateesta". Sen mitä kolmella asteella tarkoitetaan tässä yhteydessä, selitämme seuraavassa.

Kaikki esineet säteilevät jonkin verran sähkömagneettista säteilyä, sitä enemmän mitä kuumempia ne ovat. Kuumemmat esineet säteilevät lyhyempiaaltoista säteilyä kuin kylmät esineet. Hyvin tunnettu ilmiö on raudan värin muuttuminen punaisesta siniseksi sitä kuumennettaessa (eli siis valon aaltojen muuttuminen lyhyemmiksi). Taulukossa 1 on esitetty eri lämpötiloja vastaavan säteilyn pääasiallinen aallonpituus. Esineet eivät tietenkään säteile ainoastaan yhdenlaisia aaltoja, vaan yleensä jonkin verran kaikilla spektrin aaltoalueilla. Suurin osa säteilystä lähtee kuitenkin tietyn pituisina (ja sitä jonkin verran pitempinä ja lyhyempinä) aaltoina. Se mikä aallonpituusalue on tärkein esineen säteilyssä, riippuu esineen lämpötilasta. Huomaamme, että auringon, jonka pintalämpötila on noin 5500°C , säteily tapahtuu pääasiassa valoaltoina. Maapallon pinnan esineet, joiden lämpötilat ovat nollan Celsius-asteen molemmin puolin, säteilevät pääasiassa infrapunasäteilyä, kun taas $10\,000^{\circ}\text{C} - 1$ miljoona $^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa olevat kappaleet säteilevät

pääasiassa ultraviolettisäteilyä. Kun maailmankaikkeuden kaikki aine oli tiukkaan puristuneena ja korkeassa kuumuudessa, se säteili pääasiassa lyhyillä aallonpituuksilla. Suuren aineen tiheyden vuoksi säteily ei kuitenkaan päässyt etenemään kuin erittäin lyhyen matkan, toisin sanoen avaruus oli läpinäkyvä. Kun avaruus sitten laajeni ja kaasun lämpötila laski, avaruus muuttui eräissä vaiheissa läpinäkyväksi. Aineen lämpötila oli silloin noin 3000 astetta, ja säteily oli pääasiassa lyhytaaltoista infrapunasäteilyä ja tavallista valoa. Koska avaruus on tämän jälkeenkin edelleen laajentunut ja siis tullut yhä paremmin läpinäkyväksi, pääsi tuolloin matkaan lähtenyt säteily melko vapaasti etenemään ja osa siitä on vieläkin samalla matkalla. Säteilyn matkaan lähtiessä avaruuden mittakaava oli vain noin tuhannesosa nykyisestä vastaten punasiirtymää $1000 - 1 = 999$. Säteilyn aalloissa on siis tapahtunut punasiirtymä 999, josta voidaan laskea aaltojen tämänhetkinen eli havaittu aallonpituus. Se on $999 + 1$ kertaa alkuperäinen aallonpituus. Taulukosta 1 nähdään, että tuhat kertaisesti pidennettyään säteilyn aallot tulevat olemaan pääasiassa lyhyitä mikroaaltoja ja pitkiä infrapuna-aaltoja. Toisin sanoen säteily on samanlaista kuin mitä -270°C lämpötilassa oleva esine säteilisi. Lämpötila -273°C on alhaisin lämpötila mikä voi olla olemassa, joten -270°C on kolme astetta sen yläpuolella. Sen vuoksi k.o. taustasäteilyä kutsutaan kolmen asteen säteilyksi.

Kolmen asteen taustasäteily keksittiin vuonna 1965; sen olemassaolo oli tosin ennustettu jo lähes kaksikymmentä vuotta aikaisemmin. Tämä aikaväli johtuu ensi sijassa siitä, että k.o. taustasäteilyä on erittäin vaikea mitata. Näin siitäkin huolimatta, että se on noin kuusikymmentä kertaa voimakkaampaa kuin kaikista maailmankaikkeuden galakseista (Linnunrataa lukuunottamatta) meille saapuva yhteenlaskettu valosäteily. Näin voimakkaan säteilyn syntyminen muulla tavoin kuin mitä edellä esitettiin on osoittautunut vaikeasti selitettäväksi. Se ei voi olla peräisin omasta Linnunradastamme, koska silloin säteilyä havaittaisiin enemmän Linnunradan kiekon suunnassa. Tällä hetkellä oikealta näyttävä selitys kolmen asteen taustasäteilylle on, että se on peräisin maailmankaikkeuden alkuräjähdyksestä, kuten edellä on selvitetty. Tätä ei ole kuitenkaan vielä yleisesti hyväksytty. Muina mahdollisuuksina tulevat kysymykseen kaukaiset galaksit, jotka olisivat paljon kirkkaampia kuin toistaiseksi tuntemamme.

MAAILMAN ALKUTILA

Olemme nyt päässeet maailmankaikkeuden historiassa taaksepäin aikaan, jolloin avaruuden välimatkat olivat vain tuhannesosa nykyisestä. Sen pidemmälle emme voi päästäkään suoranaisten havaintotulosten avulla vielä toistaiseksi. Voimme kuitenkin jatkaa vielä pidemmälle päättelyn avulla ja

olettamalla, että luonnonlait olivat voimassa niiden nykyisin tunnetussa muodossa myös maailman alkuaikoina. Tällä hetkellä kiistellään siitä alkutilanteesta, josta maailmankaikkeus ”alussa”, **nolla-hetkellä** lähti laajenemaan. Siitä on kaksi yleisesti kannatettua käsitystä. Ensimmäisen mukaan maailmamme oli alussa sata tuhatta biljoonaa biljoonaa biljoonaa ($100 \dots 00$, 41 nollaa) kertaa pienemmässä koossa kuin nykyisin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaikkien niiden yli tuhannen miljoonan galaksin massa, jotka ovat yhtä kaukana meistä tai lähempänä kuin etäisin toistaiseksi valokuvattu galaksi, olisi silloin mahtunut atomin ytimen kokoiseen tilavuuteen. Toisen käsityksen mukaan maailmankaikkeus oli nolla-hetkellä vieläkin tavattomasti paljon pienemmässä koossa. Tämän käsityksen mukaan kaikki aine oli sulloutunut yhteen kohtaan, jolloin välimatka avaruuden kahden etäisimmänkin osan välillä oli täsmälleen nolla. Sen seurauksena aineen tiheyden täytyi olla äärettömän suuri. Jos maailmankaikkeus joskus todella oli yhdessä pisteessä ja aineen tiheys todella oli äärettömän suuri, niin silloin sanotaan sen olleen **singulariteetissa**. Singulariteetissa oleva maailmankaikkeus on jotain, joka käy yli meidän ymmärryksemme, mutta se on hyvinkin voinut olla todellisuutta noin kymmenen miljardia vuotta sitten.

Näihin kahteen eri käsitykseen joudutaan, koska emme tarkalleen tiedä, miten nykyisin tuntemiamme luonnonlakeja olisi sovellettava niin suuresti nykypäivän olosuhteissa poikkeaviin tilanteisiin. Singulariteetin olemassaoloon päädytään, jos oletetaan, että vetovoimalakia voidaan soveltaa kaikissa olosuhteissa, ja jos vielä katsotaan, että vetovoimalaki Einsteinin esittämässä muodossa on tarkalleen oikea, saadaan selville myös avaruutemme käyttäytyminen heti nolla-hetken jälkeen. Sen mukaan avaruus olisi sykähdellyt jokaisessa kohdassaan samalla kun se laajeni. Kussakin kohdassa sykähdely tapahtui siten, että avaruuden aine vuoroin litistyi pannukakun muotoiseksi, vuoroin venyi sikaarin muotoiseksi. Litistyminen ja venyminen tapahtui eri kohdissa eri suuntiin, ja samassakin kohdassa sykähdelyyn puristussuunta välillä muuttui. Sykähtelyä tapahtui sitä kiivaammassa tahdissa mitä lähempänä nollahetkeä oltiin, ja se on sitten avaruuden laajetessa vähitellen vaimentunut. Tämän mukaan maailmankaikkeutemme olisi alussa ollut kovan vatkauksen kohteena (sykähtely tapahtui vähän samaan tapaan kuin taikina vatkautuu eräissä vatkauksoneissa). Tämä koskee siis vain sitä tapausta, että Einsteinin vetovoimalaki on voimassa kaikissa olosuhteissa. Monia muitakin vetovoimalakeja on esitetty, jotka poikkeavat Einsteinin laista vain niin vähän, ettei niiden eroa käytännössä huomaa ollenkaan. Alkumaailman olosuhteissa nämä pienet erot ovat kuitenkin voineet olla ratkaisevan tärkeitä. Toinen kysymys on, voiko yleensä mitään vetovoimalakia enää soveltaa alkumaailman äärimmäisissä olosuhteissa. Ne, jotka vastaavat ei, kannattavat yleensä toista edellä mainittua käsitystä, jonka mukaan avaruuden

välimatkat tosin olivat paljon pienempiä kuin nykyisin, mutta eivät kuitenkaan koskaan nollan suuruisia. Heidän käsityksensä mukaan aikaisemmin mainittua avaruuden pienintä kokoa voitaisiin pitää sinä maailmankaikkeuden alkutilana, josta se lähti laajenemaan. Jos mitään pienintä kokoa ei ollut olemassa, ja jos siis maailmankaikkeus lähti laajenemaan singulariteetista, niin silloin se saavutti edellä mainitun mittasuhteen (pienimmän koon) jo sekunnin sadas miljoonas biljoonas biljoonas biljoonasosan (0.00...001 sek., kaikkiaan 44 nollaa) kuluttua. Käytännössä siis ei tuntuisi olevan paljoakaan eroa kahden edellä esitetyn käsityksen välillä, vaikkakin periaatteessa ne poikkeavat täysin toisistaan.

Mistä sitten maailmankaikkeuden aine tuli alkutilaansa, ja mikä aiheutti sen räjähdysmäisen laajenemisen? Nämä ovat kysymyksiä, joihin on ennen aikaista ryhtyä miettimään vastausta luonnontieteellisen tietämyksemme nykyvaiheessa. Tällä hetkellä tutkimus on keskittynyt kysymykseen ”mitä tapahtui”, mutta ehkä joskus myöhemmin kun tiedetään enemmän tapahtumien kulusta voidaan löytää vastaus myös kysymykseen ”miksi niin tapahtui”.

IV MAAILMANKAIKKEUDEN VARHAISEMPI HISTORIA

HADRONIEN AIKAKAUSI

Lähemme nyt tutustumaan yksityiskohtaisemmin siihen, mitä maailmankaikkeudessa tapahtui sen aloitettua laajenemisensa. Aineen esiintymismuodosta ja siinä tapahtuneista ilmiöistä välittömästi nolla-hetken jälkeen emme tiedä yhtään mitään. Voimme ainoastaan päätellä että aineen on täytynyt olla puristuneena uskomattoman tiheäksi, ja lämpötilakin on ehkä ollut tavattoman korkea. Vasta sekunnin miljoonasosan kuluttua on avaruus niin paljon laajentunut, ja vastaavasti aineen tiheys ja lämpötilat ovat niin paljon laskeneet, että me voimme muodostaa itsellemme jonkinlaisen käsityksen olosuhteista sen aikaisessa maailmankaikkeudessamme. Tätä maailmanhistorian ensimmäistä aikakautta, joka alkoi nollahetkellä ja päättyi sekunnin kymmenestuhannesosan kuluttua, kutsutaan **hadronien aikakaudeksi**. Kauden alkuosa on siis vielä täysin hämärän peitossa, joten kuvailemekin seuraavassa vain sen loppuosaa ja päättymistä.

Hadronien kausi on saanut nimensä siitä, että silloin kaikki aine oli melkein yksinomaan hadronien muodostamaa puuroa. Hadronipuuron lämpötila oli kauden lopussa biljoona astetta, ja vastaava aineen tiheys oli sata biljoonaa kertaa suurempi kuin veden tiheys. Toisin sanoen, yhden kuutiosenttimetrin suuruinen kimpale hadroniainetta painaisi (maanpinnalla, jos sitä voitaisiin tänne hankkia) sata miljoonaa tonnia. Aikaisemmin kauden

aikana lämpötila oli vieläkin korkeampi ja aineen tiheys suurempi. Vielä kauden lopussakin etäisyydet olivat vain sadasbiljoonasosan suuruiset nykyisiin verrattuna. Toisin sanoen, kaikki se ainemäärä, joka on yhtä kaukana tai lähempänä kuin etäisin havaittu galaksi, mahtui silloin tilavuuteen, jonka läpimitta on vain puolet maapallon ja auringon välimatkasta. Paitsi tavallisista hadroneista, aine koostui silloin melkein yhtä suuresta määrästä niiden antihiukkasia. Olosuhteet olivat sellaiset, että hadronit ja antihadronit tuhosivat toisiaan samalla vauhdilla kuin uusia hadroni-antihadronipareja syntyi. Mitä suurempimassainen hadronilaji on kyseessä, sitä korkeampi lämpötila tarvitaan pitämään syntymisvauhti yhtä suurena kuin tuhoutumisvauhti. Sen vuoksi raskaampien hadronien syntymisvauhti ei riitä lämpötilan laskiessa, vaan ne pääsevät tuhoamaan toisensa. Mitä alemmaksi lämpötila laskee sitä kevyemmät hadronit ovat enää jäljellä. Lopulta ovat jäljellä ainoastaan hadroneista kevyimmät, pionit. Kun nekin vihdoinkin tuhoavat toisensa, on hadronien kausi lopussa. Jos hadroneita ja antihadroneita olisi yhtä paljon, ne tuhoaisivat toisensa täydellisesti, eikä jäljelle jäisi sen enempää protoneita, neutroneita kuin muitakaan hadroneja. Meidän onneksemme hadroneja oli kuitenkin hiukan enemmän: Jokaista miljardia ja yhtä hadronia kohti oli tasan miljardi antihadronia. Tämä yksi hadroni miljardin muun (tuhoutuneen) joukossa on olemassa tänäkin päivänä ja toimittaa tärkeää tehtävää atomin rakennesosana. Ilman hadroneita ei olisi atomeja eikä atomeista muodostuvaa maailmaa sellaisena kuin me sen näemme.

LEPTONIEN AIKAKAUSI

Hadronien tuhouduttua maailmamme koostui pääasiassa leptoneista ja antileptoneista. Seuraavaa aikakautta kutsutaan sen vuoksi **leptonien kaudeksi**. Kauden alkupuolella taaskin oli sekä raskaita että kevyitä leptoneita, mutta loppua kohden raskaammat leptonit (= myonit) hävisivät ja jäljellä oli vain elektroneja, positroneja ja neutrinoja. Kuten aikaisemmin on jo kerrottu, neutrinot ovat hyvin huomaamattomia hiukkasia, jotka hyvin harvoin ilmaisevat olemassaolonsa törmäämällä jonkun muun hiukkasen kanssa. Hadronien kaudella aine oli kuitenkin vielä niin tiukkaan puristunutta, että törmäyksiä tapahtui runsaasti. Leptonien kauden aikana avaruus kuitenkin laajeni niin paljon, että neutrinot pääsivät vapaasti kulkemaan, ja nämä samat neutrinot kiitävät avaruuden halki vielä tänäkin päivänä. Kun lämpötila laski kymmeneen miljardiin asteeseen, alkoivat elektronit ja positronit tuhota toisiaan paljon nopeammin kuin niitä syntyi. Elektronin ja positronin tuhotessa toisensa syntyy sähkömagneettista säteilyä (gammäsäteilyä), jota avaruutemme oli tulvillaan tämän jälkeen.

SÄTEILYN AIKAKAUSI

Seuraavaa aikakautta kutsutaankin sen vuoksi säteilyn kaudeksi. Taaskin elektroneja on täytynyt olla olemassa hiukan enemmän kuin positroneja, jotta näitä hiukkasia olisi jäänyt jäljelle atomeja varten. Kuten taulukko 3 osoittaa, säteilyn kausi alkoi kymmenen sekunnin kuluttua nollahetkestä, aineen tiheyden ollessa vielä kymmenen tuhatta kertaa veden tiheyttä suurempi. Jos taas vertauksen vuoksi ajattelemme sitä ainemäärää, joka on etäisimmässä havaitussa galaksissa ja kaikissa sitä lähempänä olevissa galakseissa, niin se olisi säteilyn kauden alussa sopinut tilavuuteen, jonka läpimitta on kymmenesosa valovuotta.

Aineen tiheys veden tiheyteen verrattuna	avaruuden mittakaava	aikaa kulunut 0-hetkestä	lämpötila °C	Kaudet
100 biljoonaa	1	0,0001 s.	10 biljoonaa	Hadronien aikakausi
	1000 biljoonaa		1 biljoona 100 miljardia	
10 000	1	10 s.	10 miljardia	Leptonien aikakausi
	100 miljardia		1 miljardi	
20 nollaa 0,00...01	1	100 000 vuotta	100 miljoonaa	Säteilyn aikakausi
			10 miljoonaa	
			1 miljoona	
			100 000	
29 nollaa 0,00...01	1	10 miljardia vuotta	10 000	Tähtien aikakausi
			700	
			-173	nykyaika
			-263	
			-272°C	

Säteilyn kauden alussa maailmaa hallitsi siis lyhytaaltainen gammasäteily, jonka täydellisessä hallinnassa ainehiukkaset, protonit, neutronit ja elektronit olivat. Avaruuden laajetessa säteilyn aallonpituus kuitenkin muuttui pitemmäksi punasiirtymän johdosta, ja säteily muuttui sen vuoksi vaikutukseltaan heikommaksi. Onhan hyvin tunnettua, kuinka paljon voimakkaampaa vaikutukseltaan on esim. lyhytaaltainen röntgensäteily kuin pitkäaaltonen lämpösäteily (infrapuna-aallot). Säteilyn valta-asema ainehiukkasten suhteen kävi siis sitä kyseenalaisemmaksi mitä enemmän aikaa kului, ja vähitellen ainehiukkaset alkoivat muodostaa omia rakenteitaan. Ensin protonit ja neutronit alkoivat liittyä yhteen muodostaen raskaan vedyn ja heliumin ytimiä. Varsinkin heliumin ytimiä syntyi runsain määrin, niin että helium-ydinten massa oli lopulta vajaa kolmasosa koko aineen massasta. Lämpötilan pudottua liian alhaiseksi eivät protonit ja neutronit jaksaneet enää törmäillä toisiinsa riittävällä voimalla muodostaakseen uusia ytimiä. Tällöin heliumin muodostuminen lakkasi. Tämän jälkeen muodostui avaruuden aine pääasiassa seuraavista hiukkasista (neutrinojen ja säteilyn lisäksi): protoneista eli vety-ytimistä, helium-ytimistä, elektroneista, pienemmästä määrästä raskasta vetyä ja neutroneista. Neutronit kuitenkin eivät ole pysyviä hiukkasia, vaan ne hajoavat itsestään protoneiksi, elektroneiksi ja neutrinoiksi noin kymmenen minuutin kuluessa. Sen vuoksi kaikki heliumin ja raskaan vedyn tekemisessä tähteeksi jääneet neutronit olivat hajonneet jo paljon ennen säteilyn kauden loppua, joka tapahtui sata tuhatta vuotta nollahetken jälkeen. Suunnilleen näihin aikoihin lämpötila oli jo pudonnut niin alhaiseksi että atomit saattoivat muodostua. Elektronit ryhtyivät kiertämään vedyn ja heliumin ytimiä, jolloin syntyi vetyatomien ja heliumatomien muodostamaa kaasua (1/3 heliumia, 2/3 vetyä). Elektronien, jotka aikaisemmin estivät valoa ja muuta sähkömagneettista säteilyä etenemästä, tultua sidotuiksi atomeihin avaruus tuli läpinäkyväksi, ja säteily pääsi vapaasti etenemään. Tämä säteily siis muodostaa nykyisin kolmen asteen taustasäteilyn.

TULIPALLO

Edellä mainittuja kolmea aikakautta kutsutaan yhteisellä nimellä tulipallo-kaudeksi. Sitä seurannutta aikaa, jota nykyisinkin elämme, voidaan kutsua vaikkapa tähtien aikakaudeksi, koska tähdet ovat nykyisin ehkä tärkeimmät avaruutemme rakenneosat. Nimitys tulipallo johtuu aikaisemmillä kausilla valinneesta kovasta kuumuudesta. Sitä voimme verrata toiseen luonnossa esiintyvään kovan kuumuuden ahjoon, nimittäin tähteen. Ajatelkaamme esimerkiksi aurinkoa. Aurinko on valtava kaasupallo, jossa kaasu on hyvin ohutta kaukana keskustasta, mutta joka tulee sitä tiivimmäksi mitä lähemmäksi auringon keskipistettä mennään. Samoin lämpötila kohoaa

keskustaan päin. Kaasun suuren tiheyden johdosta auringon sisäosat ovat läpinäkymättömiä. Tietyllä etäisyydellä keskipisteestä kaasu on kuitenkin jo niin paljon harvempaa, että valo pääsee kulkemaan sen läpi melko vapaasti, ja tältä etäisyydeltä ulospäin kaasu tulee vieläkin harvemmaksi ja siis vieläkin paremmin läpinäkyväksi. Edellä mainitulla etäisyydellä sanomme sijaitsevan tähden pinnan. Auringolla ei ole mitään pintaa siinä mielessä kuin esimerkiksi maapallolla, vaan auringon aine ohenee vähitellen ulospäin. Kuitenkin e.m. tietyltä etäisyydeltä ulospäin auringon kaasu on läpinäkyvää, ja me siis näemme valoa tulevan juuri tältä etäisyydeltä. Meistä näyttää siltä kuin siinä kohtaa olisi auringon todellinen pinta. Auringon pintaa syvemmälle emme kykene näkemään: aurinko on siis tavallaan "tulipallo", jonka ulkopuolella me olemme. Sen sijaan sitä tulipalloa, joka oli olemassa maailmankaikkeuden alkuaikoina, katselemme sen sisältä päin. Kuvitelkaamme sellaista tilannetta, että ihmisen silmä pystyisi näkemään valon lisäksi myös muuta sähkömagneettista säteilyä, esimerkiksi mikroaaltoja. Mikroaltoa silmillämme näkisimme silloin säteilyä tulevan meitä kohti joka puolelta ympäröivän valtavan suuren pallon sisäpinnalta (kuva 10). Tämä pinta on punasiirtymää 1000 vastaavalla etäisyydellä, ja se on samanlainen näennäinen pinta kuin auringonkin pinta. Pinnan tuolla puolen kaasu on läpinäkymätöntä, koska etäämpänä tiheys kasvaa (etäämmältä tuleva valohan oli aikaisemmin matkaan lähtenyt, ja kaasun tiheys taas oli sitä suurempi mitä vähemmän aikaa oli kulunut nolla-hetkestä). Tulipallon pintaa ei tietenkään ole enää olemassa sen enempää kuin mitään muutakaan kaukana avaruudessa näkemäämme ilmiötä (ilmiöstä tiedon tuonut valo on yleensä ollut matkalla niin kauan, että koko ilmiö on ehtinyt tapahtua ja mennä ohi ennenkuin me saamme siitä tiedon).



Kuva 10. Katsoja (merkitty X:llä) katsomassa aurinkoa a ja tulipalloa b.

Sillä on kuitenkin suuri merkitys näkökenttämme rajoittajana, eräänlaisena seinänä, koska k.o. pintaa pidemmälle emme voi nähdä sen enempää kuin voimme nähdä auringon pinnan sisäpuolelle. Auringon ja muiden tähtien sisäisestä rakenteesta on viime vuosikymmenien aikana saatu paljon tietoa teoreettisten tutkimusten avulla, ja samoin voimme toivoa teoreettisten tutkimusten tuovan yhä enemmän valaistusta myös tulipallon pinnan takaisista olosuhteista. Näissä tulevaisuuden tutkimuksissa emme kuitenkaan ole täysin teorian armoilla. Kuten muistamme, avaruutemme tuli neutrinoille läpinäkyväksi jo paljon ennen kuin se alkoi päästää valoa lävitseen. Jos pystyisimme havaitsemaan neutrinoita, saisimme tietoa niinkin kaukaisista ilmiöistä, jotka tapahtuivat vain sekunti nollahetken jälkeen. Neutrinot kuitenkin tekevät parhaansa välttääkseen havaituksi tulemisen, ja kestää varmaankin vielä pitkän aikaa, ennenkuin ensimmäiset tulipallosta lähteneet neutrinot löydetään.

GALAKSIEN JA TÄHTIEN SYNTY

Jos tähtien aikakauden alussa avaruus olisi ollut täynnä kaasua tasaisesti jakautuneena joka paikkaan, ei mitään mainittavampia ainekasautumia olisi syntynyt myöhemminkään. Kuitenkin tiedämme, että maailmankaikkeuden aine on nykyisin kasautuneena suurempiin ja pienempiin kappaleisiin, kuten planeettoihin, tähtiin, galakseihin j.n.e.. Sen vuoksi tähtien kauden alun kaasun on täytynyt jo sisältää jonkinlaisia tiivistymiä, joista nykyiset tiivistymät sitten ovat syntyneet. Tähtien ja galaksien kehittyminen e.m. alkuperäisistä tiivistymistä aina nykyiseen muotoonsa asti on ollut erittäin monimutkaisen tapahtumasarjan tulos. Tällä hetkellä voimme vain esittää joitain arvailuja tapahtumien kulusta, mutta tälläkin alalla tutkimustyön viimeaikainen vilkastuminen ehkä tuo piankin varmempia tuloksia. Erään käsityksen mukaan puheena olevan aikakauden alussa koko avaruuden täyttävä kaasu oli melkein tasaisesti joka paikkaan levittäytyneenä, mutta siellä täällä kaasu oli kuitenkin pikkuriikkisen tiiviimpää kuin muualla. Tiivistymäkohdassa oli sata atomia alueella, joka muualla sisälsi vain 99 atomia. Kun maailmankaikkeus laajeni, laajenivat myös tiivistymäkohdat, mutta hiukan vähemmän kuin muu avaruus, sillä näissä kohdissa atomit olivat hiukan lähempänä toisiaan kuin muualla. Atomien välillä vaikuttava vetovoima on sitä suurempi mitä lähempänä toisiaan ne ovat, ja sen vuoksi tiivistymäkohdissa vetovoima kykeni paremmin jarruttamaan avaruuden kaasun laajenemista. Näin ollen ero tiivistymäkohtien ja muun kaasun tiheyden välillä vähitellen kasvoi samalla kun kaasu oheni joka paikassa laajenemisen johdosta. Lopulta tiivistymäkohdat olivat jo niin paljon ympäristöään tiheämpiä ja kaasun sisäinen vetovoima niin suuri, että vetovoima onnistui kokonaan pysäyttämään tiivistymäkohtien laajenemisen. Sen jälkeen vetovoima veti tiivistymää kokoon yhä tiiviimmäksi ja tiiviimmäksi, kunnes

maailmankaikkeuden ensimmäiset ainekasautumat olivat syntyneet. Mitä näin syntyneet ensimmäiset ainemöhkäleet olivat ja milloin ne syntyivät, on vielä vastausta vailla. Paljon riippuu siitä, kuinka suuri oli kunkin tiivistymän massa. Jos alkuperäisillä tiivistymillä oli kullakin suuren galaksin (esim. Linnunrata) verran massaa, tuntui luonnolliselta, että ensimmäiset möhkäleet olisivat olleet suuria galakseja. Jos näin oli, niin silloin voidaan laskea, että tiivistymät lakkasivat laajenemasta muun avaruuden mukana punasiirtymää 5 vastaavalla etäisyydellä ja ensimmäiset galaksit syntyivät punasiirtymää 2.5 vastaavalla etäisyydellä.

Viime vuosikymmenellä on löydetty runsaasti uudenlaisia avaruuden ainekasautumia, joita kutsutaan **kvasareiksi**. Ne näkyvät pistemäisinä kuten tavalliset tähdet, mutta niiden spektreissä on mitattu niin suuria punasiirtymiä, että niiden täytyy olla kaukana Linnunradan ulkopuolella. Niin kaukaa emme voi enää yksityisiä tähtiä erottaa, joten kvasarien täytyy olla jotain muuta kuin tähtiä. Tavallisia galaksejakaan ne eivät voi olla, koska galaksit näkyvät taivaalla sumumaisina täplinä. Monien kvasarien punasiirtymät ovat paljon suurempia kuin kaukaisimman havaitun tavallisen galaksin punasiirtymä (0.46), onpa niinkin suuri punasiirtymä kuin 3.4 mitattu eräissä kvasarissa. Jos kvasarit ovat todella punasiirtymänsä edellyttämällä etäisyydellä, täytyy eräiden niistä olla jopa sata kertaa kirkkaampia kuin kirkkaimman galaksin. Ilmeisesti myös kvasarien massan täytyy olla paljon tavallisen tähden massaa suurempi, jotta ne pystyisivät loistamaan kirkkaammin kuin miljardeista tähdistä koostunut galaksi. Toisaalta on voitu päätellä monien kvasareiden nopeista valonvaihteluista, että ne ovat varsin pienikokoisia, läpimitaltaan vähemmän kuin valovuoden kymmenesosa eräissä tapauksissa. Jos kvasarien etäisyys todella vastaa niiden punasiirtymää, mikä näyttää todennäköiseltä tällä hetkellä, niin silloin voidaan päätellä että kvasareja oli aikaisemmin noin tuhat kertaa enemmän kuin nykyisin. Tämän suuren kvasaritiheyden näemme nyt punasiirtymää 2.5 vastaavalla etäisyydellä. Tämän kauempana kvasareja ei juuri näytä olevankaan. Sen perusteella voisimme päätellä, että kvasarit ovat ensimmäisten ainekasautumien (suurien galaksien) syntyyn liittyviä ilmiöitä.

Näyttää myös mahdolliselta, että tähtien aikakauden alun kaasussa olisi voinut olla tiivistymiä paljon tiheämmässä kuin mitä edellä oletettiin, niin tiheässä että kussakin tihentymässä olisi ollut massaa vain saman verran kuin pallomaisessa tähtijoukossa eli noin miljoonasosa suuren galaksin massasta. Tässä tapauksessa tuntuisi luonnolliselta, että ensimmäiset avaruuden ainekasautumat olisivat olleet pallomaisten joukkojen suuria kaasupilviä. Niistä osa tiivistyi edelleen tähdiksi ja muodosti siten pallomaiset tähtijoukot, joita yleisesti pidetään erittäin vanhoina, osa taas törmäili toisiinsa ja muodosti suurempia kaasupilviä, joista sitten muodostui myöhemmin galakseja. Toisaalta on myös ajateltu, että e.m. kaasupilvet olisivat kehittyneet valtaviksi tähdenkaltaisiksi

kaasupalloiksi, n.s. supertähdiksi, jotka pian räjähtivät ja kuumensivat avaruuden kaasun noin miljoonaan asteeseen. Tästä kuumasta kaasusta olisi sitten muodostunut galaksijoukkoja ja galakseja. Tiivistymiä on myös saattanut olla paljon harvemmassa kuin mitä kahdessa edellisessä tapauksessa ajateltiin. Yhden tiivistymän alueella on saattanut olla massaa jopa suuren galaksijoukon verran. Tällöin voidaan ajatella kehityksen kulkeneen siten, että ensin syntyivät suuret galaksijoukot, jotka sitten murenivat galakseiksi ja galaksit edelleen tähdiksi. Mitä syytä meillä on olettaa, että tiivistymien massa oli jokin kolmesta edellä esitetyistä vaihtoehdosta, eikä mikä muu tahansa mielivaltainen massa? Tiivistymien täytyy olla peräisin jo tulipallokaudelta, ja kuten muistamme, säteilyn kaudella voimakas sähkömagneettinen säteily esti ainekasautumien muodostumisen. Poikkeuksena olivat vain kasautumat, joissa oli suuren galaksijoukon massa tai enemmän, ja joita säteily ei enää pystynyt häiritsemään; ne kasvoivat kasvamistaan mikäli niitä oli alunperin ollut. Jos taas muodostui kasautumia, joissa oli suuren galaksin massa, niin ne alkoivat värähdellä, so. vuoroin puristua kokoon ja vuoroin laajeta. Joka tapauksessa tämän suuruisia tiivistymiä saattoi olla olemassa, ja näissä tiivistymäkohdissa myös säteily oli voimakkaampaa. Sen sijaan täysin säteilystä riippumatta saattoi muodostua ainekasautumia, joissa oli pallomaisen tähtijoukon massa. Tällä hetkellä näyttää siltä, että säteily olisi hajoittanut kaikki muun kokoiset tiivistymät, vaikka niitä olisi alunperin ollutkin olemassa. Mistä sitten nämä tiivistymät olivat alunperin kotoisin? Niiden on täytynyt olla olemassa jo hadronien aikakaudella, ja näyttää mahdolliselta, että ne jäivät jäljelle itse maailman synnystä. Jos maailmankaikkeus alkoi singulariteetista, niin silloinhan se olisi ollut kovan vatkauksen kohteena jo heti syntymästään lähtien, jolloin varmaankin olisi syntynyt suuri määrä eri kokoisia tiivistymiä. Jos taas maailmankaikkeus ei koskaan ollut tiettyä pienintä kokoa pienempi, niin voimme ajatella, että maailma tässä koossaan oli erittäin pyörteisessä ja sekavassa tilassa, josta sitten jäi tiivistymiä muistoksi. Joka tapauksessa näyttää siltä, että nykyisten rakenteiden "siemenet" olivat olemassa jo aivan maailmamme alkuhetkillä, ja niistä sitten on "kasvanut" luonnollista tietä koko nykyisin havaitsemamme maailma tähtineen, galakseineen ja galaksijoukkoineen.

ANTIINEGALAKSIT

Edellä sanottiin, että maailmamme koostui aluksi lähes yhtä suuresta määrästä hiukkasia ja antihiukkasia, mutta kuitenkin niitä ei olisi saanut olla täsmälleen yhtä paljon. Eräiden tutkijoiden mielestä tuntuu kummalliselta, miksi luonto olisi tässä kohden pitänyt yhtä lajia ainetta parempana kuin toista, kun se muutoin ei tee mitään eroa niiden välille. Heidän mielestään

tuntuu luonnollisemmalta, että alussa olisi ollut ainetta ja antiainetta täsmälleen yhtä paljon, mutta että ne olisivat sijainneet osittain eri osissa avaruutta. Siinä osassa avaruutta, jossa me olemme, oli ainetta yksi osa miljardista enemmän kuin antiainetta, joten hiukkasten ja antihiukkasten tuhotessa toisensa jäi juuri tämä yksi osa jäljelle muodostamaan oman planeettamme ympäristöineen. Vastaavasti jossain toisessa avaruuden osassa olisi ollut antiainetta hiukan enemmän kuin ainetta, jonka vuoksi siellä tähdet ja galaksit nyt koostuivat antiaineesta. Kaikenkaikkiaan avaruudessa olisi tällä hetkellä yhtä paljon tavallisesta aineesta kuin antiaineestakin koostuvia galakseja. Mahdollisesti jopa samassa galaksissakin keskusydin saattaisi olla antiainetta muun galaksin koostuessa tavallisesta aineesta (tai päinvastoin). Näin voitaisiin ehkä selittää galaksien keskusytimissä varsin tavalliset räjähdykset aineen ja antiaineen kohtaamisesta johtuviksi. Tällä hetkellä on vielä kuitenkin mahdotonta sanoa, onko avaruudessa todella yhtä paljon molempia aineen lajeja vaiko vain pääasiassa yhtä lajia.

ÄÄRELLINEN VAI ÄÄRETÖN MAAILMANKAIKKEUS

Tähän asti olemme puhuneet vain tiettyä punasiirtymää vastaavasta etäisyydestä sanomatta sen tarkemmin, kuinka suuri k.o. etäisyys on esim. valovuosissa ilmoitettuna. Sanoimme myös, että tämä valovuosimäärä riippuu siitä, onko avaruutemme kaareva (ja millä tavoin kaareva) vai suoraviivainen. Etäisyydet riippuvat myös siitä, oletetaanko massojen välisen poistovoiman olemassaolo vai ei. Tässä jätämme poistovoiman kuitenkin huomiotta, koska sen olemassaolosta ei ole mitään todisteita. Tällöin voimme havainnollisuuden vuoksi esittää taulukon 4 mukaisesti eri punasiirtymiä vastaavat etäisyydet valovuosina. Nämä lukuarvot ovat kuitenkin melko epävarmoja, koska käsitykset avaruuden kaarevuudesta ovat tällä hetkellä varsin ristiriitaisia. Voimme nimittäin yrittää mitata etäisyyksiä kaukaisiin galakseihin jollain muulla tavalla kuin punasiirtymän avulla, esimerkiksi galaksien näennäistä suuruusluokkaa käyttäen. Jos siinä onnistuisimme, tietäisimme tarkan yhteyden galaksien punasiirtymän ja etäisyyden välillä. Se puolestaan kertoisi meille, millä tavalla ja kuinka voimakkaasti avaruutemme kaareutuu.

Tätä mittausta onkin yritetty, ja tähänastisten tulosten mukaan näyttää, että avaruutemme on suljettu, siis kaareva samaan tapaan kuin pallon pinta. Suljetussa avaruudessa suoraan eteenpäin kulkeva matkaaja saapuu lopulta samaan paikkaan takaisin aivan kuten tapahtuu maanpintaakin suoraan eteenpäin kulkevalle matkaajalle. Valo on juuri tällainen suoraan eteenpäin vaeltava matkalainen, joten periaatteessa voisimme ajatella näkevämme oman selkämme kaukana edessä päin, mikäli meillä olisi aikaa odottaa selästämme lähteneen valon kiertävän koko maailmankaikkeuden ympäri.

Taulukko 4.

punasiirtymä	etäisyys miljardeissa valovuosissa
0.2	2.7
0.5	5.0
1	6.8
1.5	7.8
2	8.3
2.5	8.6
3	8.9
...	...
1000	9.99

Toinen tapa avaruuden kaarevuuden selvittämiseksi on tutkia avaruudessa olevan aineen määrää, tai tarkemmin sanoen avaruuden aineen keskimääräistä tiheyttä. Massan voidaan nimittäin katsoa aiheuttavan avaruuden kaareutumista ympärillään. Mitä tiheämmässä on ainetta sitä suurempi on koko avaruuden kaarevuus. Riittävän tiheässä oleva aine pystyy taivuttamaan koko avaruuden niin kaarevaksi, että siitä tulee suljettu (kuin pallon pinta). Jos taas ainetta ei ole riittävästi, niin avaruus on avoin, joko suoraviivainen tai kuten satulapinta. Kuinka tiheässä ainetta tulisi sitten olla, jotta se riittäisi avaruuden taivuttamiseen suljetuksi? On huomattava, että maailmankaikkeutemme massat ovat keskittyneet eri suuruisiin möhkäleisiin. Me emme nyt kuitenkaan ole kiinnostuneita siitä kuinka paljon avaruus kaareutuu kunkin möhkäleen ympäristössä erikseen, vaan siitä, kuinka paljon ne pystyvät taivuttamaan koko avaruutta yhdessä. Sen vuoksi meidän täytyy kuvitella levittävämmä avaruuden kaiken aineen takaisin tasaiseksi, joka paikassa yhtä tiheäksi kaasuksi. Ajatelkaamme vielä erottavamme kuvittelusta kaasusta alueen, joka on kuution muotoinen, ja jonka sivun pituus on 170000 kilometriä. Jos tässä kuutiossa (samoin kuin jokaisessa yhtä suuressa kuutiossa) tulisi olemaan täsmälleen sata grammaa ainetta, niin silloin avaruutemme kokonaisuudessaan täytyisi olla suoraviivainen (vastaten sitä mielikuvaa, mikä meillä avaruudesta on). Mutta jos kaasua olisi hiukan enemmän kuin sata grammaa, niin se riittäisi taivuttamaan avaruutemme suljetuksi. Jos taas ainetta riittäisi vähemmän kuin sadan gramman verran kutakin kuutiota kohden, voisimme sanoa, että avaruutemme on avoin ja kaareva (kuten satulapinta). Entä mitä havainnot osoittavat? Kun kaikki galaksien aine ajatellaan edellä esitetyllä tavalla

levitetyksi, saamme siitä kuutiomme vain 2,5 grammaa. Jos siis kaikki aine olisi galakseissa, olisi avaruutemme ilman muuta avoin. Galaksien lisäksi avaruudessa saattaa olla myös muuta, valaisematonta ainetta. Käsitkset vaihtelevat siitä, kuinka paljon tällaista ainetta voisi olla galaksien välissä ilman että se tulisi ilmi. Eräiden tutkijoiden käsityksen mukaan sitä ei kuitenkaan voisi olla olemassa enempää kuin korkeintaan kymmenen kertaa galaksien yhteenlaskettu ainemäärä. Tällöin saisimme galaksien välisestä aineesta kuutiomme vain vähemmän kuin 25 grammaa lisää, mikä ei läheskään riitä taivuttamaan avaruuttamme suljetuksi. Osoituksena tällaisten arvioiden epävarmuudesta voimme esittää seuraavan ajatusleikin: Olettakaamme vielä, että jokaisessa edellä mainitun kuution suuruudessa alueessa olisi yksi tiiliskivi. Silloin niiden massa olisi riittävän suuri tekemään avaruudestamme suljetun, mutta toisaalta ne olisivat liian huomaamattomia, jotta voisimme keksiä niiden olemassaolon. Vaikka avaruudessa ei juuri tiiliskiviä olisikaan, niin jotain muuta melkein yhtä odottamatonta saattaa vielä löytyä avaruudesta.

Olemme näin päätyneet kahta eri tietä täysin päinvastaisiin tuloksiin avaruutemme kaarevuudesta. Tästä syystä meille jää vielä toistaiseksi epäselväksi myös kysymys siitä, onko maailmankaikkeus loputtoman suuri (avoin avaruus) vai onko sillä jokin tietty koko (suljettu avaruus). Mitään rajaahan sillä ei ole kummassakaan tapauksessa. Näin olemmekin löytäneet vastaukset eräisiin alussa esitettyihin kysymyksiin, kun taas toisiin saamme vastauksen vasta tulevaisuuden tarkemman tutkimuksen myötä.

VAKAA VAI LEVOTON KOSMOS

Toivo Jaakkola

Ovatko avaruuden sisältämät erilaiset materiakoostumat vakaita ja muuttumattomia, vai tapahtuuko niissä jonkinlaista kehitystä? Jos kehitystä, niin tapahtuuko se tasaisesti vaiko rajuinkin muodoiin? Entä maailmankaikkeus, kosmos, onko se ikuinen, pysyvä ja ääretön, vaiko jostakin alkutilasta nykyisenlaiseksi kehittynyt ja kehitystään edelleen jatkava äärellinen kokonaisuus?

Toistuviin tietoihin yhteiskunnallisista ja kansainvälisistä levottomuuksista väsyvällä ihmisellä esiintyy houkutus hakea lepoa luonnon pysyvyyden ajatuksesta. Kosmos on ollut myös mystiikkaan taipuvien ajattelun tärkeä kohde, ikuisuuden ja tavoitellun mielenrauhan symboli. Uskonnollisissa yhteyksissä esiintyy usein ajatus maailmankaikkeudesta ylhäältä säädeltynä järjestelmänä. Runoilijan avaruuskuvasta esimerkkinä säkeet Harry Martinsonin teoksesta ”Aniara”:

”Avaruus, steriili ja tyhjä, säilyttää.

Sen lasimainen katse meidät ympäröi

ja liikkumatta tähtijärjestelmät

kristalli-ikkunoissa seisovat.”

Vakaan kosmoksen mielikuvalla on ollut ja on edelleenkin sijansa myös tieteessä. Antiikin oppineen Aristoteleen mukaan tähdet olivat kiinnitetyt pallonkuoreen, jonka sisällä tarkalleen keskipisteessä oli maapallo. Pallonkuori pyörähti ympäri kerran vuorokaudessa jolloin tähdille saatiin tarkalleen ympyrän muotoinen rata. Tällainen liike, joka tapahtuisi tasaisella nopeudella ympyrärataa pitkin eli ns. täydellinen liike oli tärkeällä sijalla sen aikaisessa luonnonfilosofisessa ajattelussa, ja pysyi sellaisena aina uuden ajan alkuun. Kun havainnot planeettojen liikkeestä eivät täsmänneet tämän teorian kanssa, sijoitettiin ympyrälle toinen pienempi ympyrä, ja pantiin planeetta liikkumaan samanaikaisesti pitkin molempia ympyröitä, episykliliikkeeseen. Tyko Brahen aikaisempia tarkempien havaintojen perusteella loi Kepler viimein tärkeät ellipsiliikkeeseen perustuvat lakinsa ja julkaisi ne vuonna 1609. Seuraava täydelliseksi luultu luonnonjärjestys perustui Newtonin 1700-luvun alkupuolella keksimään yleiseen vetovoimaan eli gravitaatiovoimaan. Viime vuosisadalla auringon säteilykin yritettiin selittää gravitaatioenergian avulla. Luonto sai siis jälleen kaavamaisen tulkinnan, fysikaalinen maailmanjärjestelmä muistutti varmakäyntistä konetta. Tämä ns. mekanistinen tieteenvirtaus oli voimakkaimmillaan 1800-luvun puolivälissä.

Yleiselle käsitykselle avaruuden ilmiöiden muuttumattomuudesta onkin

hyvin luonnolliset syynsä. Paljain silmin emme pysty, aniharvoja poikkeuksia lukuunottamatta, havaitsemaan tähdissä tapahtuvia muutoksia. Tähtitaivas pysyy maan liikkeistä johtuvia ja aurinkokunnassa tapahtuvia liikkeitä lukuunottamatta paljaille silmille muuttumattomana. Toiseksi, jotkut avaruuden materiakoostumissa tapahtuvista muutoksista ovat niin hitaita, ettei niitä pystyttäisi suoraan toteamaan suurilla teleskoopeillakaan pitkänkään havaintosarjan puitteissa, eikä edes koko ihmiskunnan historian pituisena ajanjaksona. Kolmas syy miksi ihmiset ovat taipuvaisia pitämään kaikkea avaruuteen liittyvää muuttumattomana sisältyy itse ihmiselämän edellytyksiin ja maapallolla esiintyvän kulttuurin meneillään olevaan vaiheeseen. Tähän palataan kirjoituksen loppuosassa.

Käsitys avaruuden ilmiöiden vakaisuudesta on kuitenkin harhakäsitys. Tähtitaivas ei ole pelkkä näköaistimus, vaan sen näkeminen edellyttää, että tähdet ovat säteileet ne valohiukkaset, joiden välityksellä saamme tämän näköaistimuksen. Tähtien säteilemä valo saa energiansa ydinreaktioista, joissa neljä vetyatomia ydintä muodostaa yhden heliumatomin ytimen. Reaktiot ovat oleellisesti samoja kuin ne, jotka tapahtuvat vetypommin räjähtäessä. Osa avaruudesta vastaanotettavasta säteilystä on syntynyt ilmiöissä jotka ovat tätäkin vielä monta kertaluokkaa rajumpia. Siis, millaisia pysyvyyden ja harmonian mielikuvia tähtitaivaan näkymästä luommekin, jo nämä havainnot itsessään edellyttävät varsin rajujakin materiaalisia vuorovaikutuksia.

Lähdettäessä nyt tarkemmin tutustumaan eriasteisissa materiakoostumissa esiintyviin epävakaasiin ilmiöihin huomaamme, että jo lähtöpisteen, maapallon, kohdalla ei klassillinen käsitys muuttumattomasta luonnosta pidä paikkaansa. Tämä käsitys on muodostunut suhteellisen vakaalla Pohjois- ja Länsi-Euroopan kallioperällä ja eurooppalaisen hengen mukaisesti yleistetty yleismaailmalliseksi. Levottoman kallioperän alueella asuvien ja samalla tavallisesti luonnonvaraisempien kansojen keskuudessa käsitys on toinen. Maapallolla tapahtuu vuosittain yli miljoona maanjäristystä, jotka vaihtelevat vähäisestä tärinästä kokonaisia kaupunkia ja alueita hävittäviin luonnonmullistuksiin. Tulivuorenpurkaukset esiintyvät tavallisesti samoilla alueilla. Vuonna 1970 hukkui Bengalissa hyökyaaltoon satoja tuhansia ihmisiä. Tällaiset maassa tavattavat ilmiöt sijoittuvat maailmankaikkeudessa esiintyvään luonnolle yleiseen ilmiökenttään.

Meidän havaintojentekomme kannalta ei ole pelkkää sattumaa, että aurinko on suhteellisen vakaa tähti. Tosin sen pinnalla, kromosfäärissä tapahtuu leimahduksia, jonka kielekkeet ulottuvat aina 60000 kilometrin korkeudelle. Näillä ilmiöillä on erilaisia vaikutuksia maapallollekin saakka, revontulina ja tietoyhteyksissä ilmenevinä magneettisina häiriöinä.

On paljon tähtiä, joissa tällaiset leimahdukset esiintyvät alituisesti ja satoja kertoja kirkkaampina. Silloin tällöin havaitaan tähtiä, jotka tuntien tai päivien



Kuva 1. Äyriäissumu, vuonna 1054 leimahtaneen supernovan jäännös.

sisällä muuttuvat kirkkaudeltaan kymmentuhattokertaisiksi. Tällaisissa noviksi nimitettävissä katastrofaalisissa tapahtumissa osa tähden materiaasta räjähtää avaruuteen tuhannen kilometrin sekuntinopeudella. Novat kuitenkin palautuvat vähitellen entiseen kirkkauteensa. Joskus, kerran muutamassa kymmenessä tai muutamassa sadassa vuodessa galaksia kohti, sattuu, että tähti räjähtää lähes kokonaisuudessaan. Se muuttuu silloin hetkellisesti, kuukauden parin ajaksi, yhtä kirkkaaksi kuin sata miljoonaa aurinkoa. Tällainen leimahdus on jo paljain silminkin todettavissa. Vuonna 1054 merkitsivät kiinalaiset muistiin tällaisen leimahduksen, supernovan. Sen jäljiltä on näkyvissä yhä laajeneva räjähdyspilvi, Äyriäissumu (kuva 2).

Luonnon nopeasti tapahtuvien muutosten ilmiökentässä havaittiin uusi alue, kun 1940-luvun loppupuolella löydettiin ns:t tähtiassosiaatiot. Ainakin osan näistä hyvin nuoria tähtiä sisältävistä tähtijoukoista lasketaan hajoavan varsin nopeasti, muutamassa miljoonassa vuodessa, mikä on tähtitieteellisesti lyhyt aika. Assosiaatiot toiminevat itse asiassa tähtientuottajamekanismeina Linnunradassa ja muissa galakseissa. Koska assosiaatioiden todetaan laajenevan, tähdet ilmeisesti syntyvät jostakin pieniläpimittaisesta, tiheästä ainekoostumasta assosiaation sisällä. Orionin assosiaatiossa havaitaan tähtien syntyneen neljänä erillisenä purkauksena, kymmeniä tähtiä kussakin vaiheessa.

Runsaan kymmenen viime vuoden aikana on löydetty runsaasti havaintotodisteita nopeasti tapahtuvista jopa räjähdysnomaisista muutoksista galakseissa. Galaksithan ovat Linnunrataa vastaavia järjestelmiä joissa on jopa sata miljardia tähteä ja enemmänkin. On löydetty uudentyyppisiä galakseja, joissa mainitunlaiset ilmiöt ovat vallitsevina, lisäksi vanhastaan tunnettujen galaksimuotojen ytimissä on nyt todettu esiintyvän muutoksia. Linnunradankin keskuksesta on löydetty hyvin pieniläpimittainen, hyvin tiheä ja hyvin voimakkaasti säteilevä materiaakoostuma, keskusydin. Joissakin galakseissa tämä on muodostunut useammasta osasta. Tällä keskusytimellä ja sen sukulaiskohteilla tulee ilmeisesti olemaan ensiarvoisen tärkeä merkitys fysiikan kehityksessä.

Millaisia ilmiöitä keskusytimiin liittyy? Niistä on useissa tapauksissa todettu purkautuvan ulos materiaa. Joidenkin poikkeuksellisten galaksien ytimissä tätä tapahtunee jopa useiden tuhansien kilometrien sekuntinopeudella. Löytyy osoituksia ytimissä tapahtuneista räjähdyksistä. Galaksista M 87 nähdään erkanevan kymmenien tuhansien valovuosien mittainen suihku, jonka suunta on tarkalleen pois päin galaksin ytimestä. Tästä suihkusta, joka on tulos ytimessä tapahtuneesta räjähdyksestä, saattaa myöhemmin kehittyä uusi galaksi. Galaksi M 82 näkyy suurelta osaltaan räjähdyspilven muotoisena. Se on kaikkein näyttävien visuaalinen esimerkki luonnossa esiintyvistä räjähdysnomaisista ilmiöistä (kuva 2).

Galaksien ytimissä tavataan kirkkauden vaihteluja. Tavallisilla galakseilla tämä ei vaikuta kokonaiskirkkauteen, mutta joidenkin poikkeuksellisten galaksien ydin muodostaa niin suuren osan galaksin kokonaiskirkkaudesta, että sekin muuttuu. Miljardien aurinkojen massainen muodostuma muuttuu, siis leimahtaa, muutamassa vuodessa, kuukaudessa tai jopa viikoissa! Kyse on siis todella rajuista ilmiöistä.

Paitsi valoa, silmiemme erottamaa säteilylajia, galaksit ja erikoisesti niiden keskusytimet säteilevät radiosäteilyä, infrapuna-, ultravioletti-, röntgen- ja gammasäteilyä, mikä galaksi mitään näistä erikoisesti. Mainittu M 87 on erikoisesti röntgen galaksi. Linnunradan keskusydin on, paitsi radiolähde, voimakas säteilijä erityisesti infrapuna-aallonpituuksilla. Tämä hämmästyttävän



Kuva 2. Räjähdyspilveä muistuttava galaksi M 82.

voimakas, sadan miljoonan auringon kirkkaudella tapahtuva säteily havaittiin vasta pari vuotta sitten. Optisesti tätä Linnunradan keskusmuodostumaa ei pystytä lainkaan havaitsemaan. Eräät kosmiset infrapunalähteet voivat olla vielä kymmenen miljoonaa kertaa tätä voimakkaampia. Nämäkin energiset ilmiöt liittyvät aina rajuihin muutoksiin galaksien ytimissä.

Galaksien keskusytimien kanssa sukulaiskohteiksi on osoittautunut kokonainen sarja uudentyyppisiä galakseja, joista pääosa löydettiin 1960-luvulla. Näitä poikkeuksellisia galakseja ovat Seyfertin galaksit, N- eli ydingalaksit, kompaktit eli tiiviit galaksit, Haron siniset galaksit, Markarianin ultravioletit galaksit, sekä kummallisimmat näistä kaikista, kvaasarit.

Useimpien käsitysten mukaan kvaasarit ovat etäisimpiä kohteita mitä on havaittu. Silloin ne olisivat samalla kaikkein kirkkaimpia, eräät niistä jopa sata kertaa Linnunrataa kirkkaampia. Niiden kirkkauden muutokset ovat kuitenkin niin nopeita että kyseessä täytyy olla, tähtitieteellisesti katsoen, hyvin pieniläpimittaiset kohteet. Kvasaareista saapuvan säteilyn eräät muut piirteet osoittavat – mikäli tähänastiset tulkinnat ovat oikeat – jopa kymmenien tuhansien kilometrien nopeuksia sekunnissa materian liikkeelle kohteissa itsessään. Näin nopea liike ei voi tapahtua pitkin säännöllistä rataa, kuten esimerkiksi maan liike auringon ympäri on, vaan se on todennäköisesti ulospäin suuntautuvaa liikettä räjähdys tuloksena.

Mikä aiheuttaa nämä ilmiöt galaksien ytimissä ja poikkeuksellisissa galakseissa? Tämä on suurimmaksi osaksi vielä ratkaisematta. Tarvittavat suuret

energiämäärät syntyvät, eri teorioiden mukaan, tähtien yhteentörmäyksissä, tai usein toistuvissa supernovaräjähdyksissä tai niiden ketjureaktioissa, tai massiivisen kappaleen romahtaessa gravitaationsa ansiosta näkymättömiin, niin sanotuksi mustaksi koloksi. Vielä on eräs nykyaikaisen fysiikan, joskaan ei jokapäiväisen havaintokokemuksemme tuntema mahdollisuus, jota voi käyttää selityksenä energiaongelmaan, nimittäin antimateria. Laboratorioissa on löydetty hiukkasia, jotka sähkövarauksiltaan ovat vastakkaiset tuntemamme aineen alkeishiukkasten varauksille. Niiden muodostaman anti-materian ja tavallisen materian tullessa kosketuksiin tavallinen ja antiaine tuhoavat toisensa. Koska aine tässä muuttuu täydellisesti energiaksi, suurten antimateria-määrien esiintyminen räjähdyspisteissä ratkaisisi niiden energiaongelman. Tätä on pidettävä vain eräänä olettamuksena, joka samalla liittyy galaksitutkimuksen tuloksia hiukkasfysiikan ongelmakenttään. Fysiikan hyväksytyt käsitteistön ulkopuolelle menee selitys, että kvasaarit ja galaksien ytimet olisivat ”jatkuvan luomisen” paikkoja, jossa materiaa ja kenties antimateriaa syntyy tyhjästä.

Ei-stationääriset eli muuttuvan tilan ilmiöt galakseissa liittyvät hyvin suuriin materiatiheyksiin. Kyseessä voi olla jopa tiheyksiä satatuhatta tonnia senttilitrassa ja useita kertalukuja sen molemmin puolin. Samalla kyseessä ovat ennenkuulumattoman voimakkaat gravitaatiokentät. Ja kyseessä ovat muutokset, joissa aineen tiheys muuttuu miljardisosiin aikaisemmasta. Tällaisissa fysikaalisissa olosuhteissa ei välttämättä tarvitse vallita samat luonnonlait, mitkä pätevät meidän nojatuolumme ympäristössä. Ei ole kovinkaan hämmästyttävää, jos viime aikoina muuttuvan tilan ilmiöistä tehdyt havainnot, joiden kanssa on jo ollut runsaasti selitysvaikeuksia, edelleen karttuessaan johtavat selvään ristiriitaan nykyään tunnettujen fysiikan lakien kanssa. Tämä osoittaisi, että tunnetut lait ovat vain likimäärin oikeat ja sitäkin vain tietyissä olosuhteissa, ja osoittaisi siis yleisempien luonnonlakien olemassaolon.

Matkaa levottomassa luonnossa voidaan jatkaa yhä laajempiin ilmiöihin. Galaksit ovat tavallisesti jäseniä galaksijärjestelmissä. Näihin kuuluu muutamasta aina kymmeneen tuhanteen galaksia. Samoin kuin tähtien muodostamat assosiaatiot, nämä galaksienkin muodostamat systeemit näyttävät olevan hajoamiskehityksen alaisia. Aiemmin vallitsi itsestään selvänä käsitys, että ne ovat pysyviä muodostelmia. Saman järjestelmän eri galakseille suoritettut nopeusmittaukset osoittivat kuitenkin 1950-luvun lopulla eri galaksien nopeuksien poikkeavan toisistaan niin paljon, että toisaalta saatu galaksien yhteenlaskettu massa ei pysty gravitaatiovoimallaan pitämään näin nopeasti liikkuvia kappaleita säännöllisillä radoillaan, toisin sanoen galaksijärjestelmät hajoavat. Laskettu järjestelmien ikä osoittautui paljon lyhyemmäksi, noin sadasta miljoonasta miljardiksi vuodeksi, kuin järjestelmien jäsenten, galaksien ikä, jonka taas lasketaan olevan noin kymmenen miljardia

vuotta. Tässä on galaksijärjestelmien paradoksi. Se pysyi koko viime vuosikymmenen yhtenä tärkeimmistä ratkaisemattomista ongelmista tähtitieteessä, ja sen selvittäminen jatkuu edelleen.

Lähes dramaattinen lisäpiirre ongelmaan on ollut, että se galaksijärjestelmä, mihin me satumme kuulumaan, paikallinen galaksiryhmä, on näyttänyt olevan lähes ainoa pysyvä järjestelmä tutkituista n. 80:stä galaksiryhmästä ja -joukosta. Muutama kuukausi sitten tämä osaongelma ratkesi sillä tavalla, jolla sen täytyikin ratketa. Oman galaksimme läheisyydestä löytyi kaksi uutta galaksia, Maffein galaksit, joista toinen on jättiläiskokoinen. Ne ovat jääneet tähän asti löytämättä, koska Linnunradan kiekko lähes peittää ne taivaalla. Nyt niiden todetaan etääntyvän sellaisella nopeudella, että ne ajan mittaan jättävät paikallisen galaksiryhmän. Siis omakaan järjestelmämme ei ole pysyvän tilan saareke muuttuvan tilan kosmoksessa, kuten se ei voi olla poikkeuksellinen muullakaan tavoin.

Yleensä galaksijärjestelmien stabiilisuusongelman suhteen pääteltiin aluksi, että galaksien välisessä avaruudessa on näkymätöntä materiaa kaasuna, tähtijoukkoina ja kääpiögalakseina riittävästi sitomaan gravitaatiollaan järjestelmät. Erilaiset mittaukset osoittivat kuitenkin, ettei sitä ole riittävästi, vaan tämä ns. ”puuttuva massa” pysyy yhä noin kymmenkertaisena löydettyyn erimuotoiseen massaan verrattuna. Paitsi puuttuvalla massalla, on paradoksia yritetty selittää myös ”puuttuvalla fysiikalla” esim. siten, että se gravitaatiolain epämääräisyys, mikä ehkä ilmenee planeetta Merkuriuksen periheliiliikkeessä suhteellisuusteoreettisen efektin huomioimisen jälkeen neljän kaarisekunnin ylimääränä vuosisataa kohden, voisi kyseisessä skaalassa ilmetä tällaisena manifestaationa, galaksijoukkojen näennäisenä räjähtämisenä.

Galaksien nopeuksia on mitattu niiden punasiirtymistä. Nyttemmin alkaa osoittautua ettei punasiirtymän, siis spektriviivojen siirtymän kohti pitempiä aallonpituuksia, voi aina katsoa osoittavan pelkästään galaksin nopeutta. Useilla galakseilla osa tästä siirtymästä liittyy johonkin ilmiöön galaksissa itsessään, todennäköisesti sen ytimeen. Spiraaligalakseilla ja poikkeuksellisilla galakseilla on nimittäin keskimäärin vähän suuremmat punasiirtymät kuin muilla galakseilla samoissa järjestelmissä. Jos nyt punasiirtymä johtuisi yksinomaan nopeudesta, oltaisiin tilanteessa, jossa tietyn tyyppiset galaksit suuntautuisivat kohti ja toiset pois päin katsottuna pisteestä, joka sattuisi olemaan juuri maapallo, monen aikaisemmankin teorian keskipiste. Koska tämä on mahdotonta, on osa siirtymistä siis gravitaation tai jonkun tuntemattoman mekanismin aiheuttamaa. Tämä pienentää ellei ratkaisekin mainittua ristiriitaa, että punasiirtymien perusteella galaksijärjestelmät hajoavat niin nopeasti, ettei niitä pitäisi enää olla olemassaakaan.

Samanaikaisesti kun galaksijärjestelmät edellä esitetyn rajoissa ilmeisesti kukin sisäisesti hajoavat, ne, jos punasiirtymät tulkitaan nopeuksina, samalla

etääntyvät toisistaan. Mitä suurempi on järjestelmien välinen etäisyys, sitä suurempi on niiden punasiirtymistä laskettu etääntymisnopeus. Virgon galaksijoukko on samalla keskuksena paikalliselle korkeamman asteiselle järjestelmälle, supergalaksille, johon Linnunratakin tuhansien muiden galaksien tavoin kuuluu. Etäännyimme Virgon joukosta n. 1000:n kilometrin sekuntinopeudella. Eräs toinen, Coman joukko, etäännyy Linnunradasta noin 7000 km/s, ja jotkut kvasaareista, mikäli niiden punasiirtymä osoittaa nopeutta, etäännyvät jopa 270 000 km/s, lähes valon nopeudella. Havaitsemamme osa maailmankaikkeudesta, metagalaksi, siis tämän mukaan laajenee. Tämä ilmiö havaittiin jo 1920-luvulla. Metagalaksin laajenemisen on laskettu olevan yhteydessä aiemmin mainittuihin muuttuvan tilan ilmiöihin siten, että se osoittaa samaa luonnon ei-stationäärisyyttä kyseisessä metagalaksin mittakaavassa.

Edellä on osoitettu muuttuvan tilan ilmiöitä luonnon koko skaalassa. Osa näistä muutoksista tapahtuu räjähdysnomaisella nopeudella. Tämä poikkeaa siitä uskonnollisen-, mystisen- ja runollisenomaisesta pysyvyyden ja muuttumattomuuden mielikuvasta, mikä taivaankappaleisiin on aina, lukuunottamatta joitakin antiikin ajattelijoita, yhdistetty.

Vallitseva käsitys eriasteisten nykyään tunnettujen materiakoostumien kuten planeettojen, tähtien ja galaksien synnystä on, että ne ovat syntyneet tiivistymällä laajoista, harvoista kaasu- ja tomupilvistä. Kehityksen suunnan siis ajatellaan olevan sisäänpäin, kohti tiiviimpiä muodostumia, poikkeuksena laajeneva "maailmankaikkeus". Selostamani ilmiöt ovat kuitenkin kaikki olleet päinvastaisen suuntaisia, siis laajenevia, ulospäin suuntautuvia liikkeitä. Ne ovatkin johtaneet neuvostoliittolaisen astrofyysikon Viktor Ambartsumianin, joka myös ensimmäisenä on kiinnittänyt huomiota ei-stationäärisiin ilmiöihin, kehittämään uuden, äsken mainitulle teorialle päinvastaisen kosmogonian eli syntyteorian. Sen mukaan tuntemamme muodostumat ovat syntyneet laajenemalla ja osiintumalla hyvin tiheistä alkumuodoista. Alkuperäisiä tiheyksiä tavattaisiin vieläkin esim. assosiaatioissa, galaksien ytimissä ja kvasaareissa. Nämä paikat ovat samalla rajuimpien muuttuvan tilan ilmiöiden esiintymispaikkoja.

Äärimmillään kehitetty ajatus muuttuvan tilan ilmiöistä on, että ne ovat osoitus luonnon yleisestä taipumuksesta edetä kohti aina suuremman hajanaisuuden tilaa, eli, kuten termodynamiikan termi kuuluu, kohti suuremman entropian tilaa. Tämän kehityksen jatkuttua kyllin pitkälle ei olisi enää galakseja eikä galaksijärjestelmiä. Koska metagalaksikin laajenee, ei olisi ainetta näkyvissä juuri missään muodossa. Kun saman tendenssin mukaisesti lämpötilaerotkin tasoittuisivat, ei olisi enää mitään, mikä voisi tapahtua, kosmos olisi kuollut. Tällaista prosessia sanotaan lämpökuolemaksi. Tämä hajoamisen käsityskanta on verrattavissa vanhaan, pysyvän luonnon

käsitykseen, vaikka se onkin tämän antiteesi. Siihen on pysyvyyden tilalle otettu yhtä mystinen yhdensuuntaisten tapahtumien ketju, jonka lopputuloksena on, jos mahdollista, edellisen teorian olettaa vakaata luontoakin kuolleempi tila. Siinä myös kehitys alkaa jostakin ja päättyy johonkin.

Kumpikaan käsityskanta ei ota huomioon, että materiaalilla on luonteenomaisena piirteinä keskinäiset vuorovaikutukset. Vuorovaikutuksen muotoja ovat gravitaatio, elektromagnetismi, atomaariset vahva ja heikko vuorovaikutus ja ehkä lisäksi ne-voimat, jotka aiheuttavat tässä esiteltyt ilmiöt. Mainituissa vastakkaisissa käsityskannoissa vain osa näistä on huomioitu. Näillä eri voimilla on keskenään dialektinen luonne, ja saattaakin olla, että juuri tästä johtuen muuttuvan tilan ilmiöitä, joiden huomattava tieteellinen merkitys nykyään on pitkäaikaisen kielteisen asennoitumisen jälkeen kaikkialla yleisesti tunnustettu, alettiin ensimmäisenä keskitetysti tutkia Neuvostoliitossa, jossa dialektisen materialismin metodi on tärkeässä asemassa. Esimerkkinä tällaisesta prosessista, kun räjähdys tuloksena aineen tiheys on laskenut vähäiseen osaan alkuperäisestä, lakkaa räjähdys aiheuttaneen voiman vaikutus, gravitaatio tulee tärkeämmäksi ja alkaa vaikuttaa ulospäin suuntautuvaa liikettä vastaan. Tai kun materia on gravitaation vaikutuksesta keräytynyt tiiviiksi muodostumaksi, alkavat ne prosessit, jotka johtavat ulospäin suuntautuvaan purkaukseen. Tähtijärjestelmissä havaitaan esiintyvän tällaista teoreettisesti odotettavaa molemminsuuntaista kehitystä, sekä tiivistyvää että ulospäin purkautuvaa, josta edellä on ollut puhe. Ei ole mahdotonta, että riittävän suuressa mittakaavassa katsottuna nämä kaksi eri suuntiin vaikuttavaa tendenssiä pitävät toisensa tasapainossa. Tätä hypoteesia tukevatkin monet havaintoseikat. Maailmankaikkeuden havaittavan osan laajenemista ei ole kovinkaan monipuolisilla havainnoilla varmistettu. Vaikka luonto suuressa mittakaavassa tasapainoteorian mukaan pysyisikin keskimäärin samanlaisena, sen jokaisessa osa-alueessa tapahtuisi kehitystä. Muuttuvan tilan ilmiöt ovat tämän kehityksen tärkeitä mekanismeja. Ne vaikuttavat erikoisesti eri materiakoostumien syntyvaiheissa, mikä huomattiin edellä assosiaatioissa, sekä materian muuttaessa olomuotoaan tilasta toiseen, esimerkiksi tähdestä kaasupilveksi supernoväräjähdyksessä.

Miten tasapainohypoteesin laita onkin, muuttuvan tilan ilmiöt tulevat säilyttämään keskeisen asemansa luonnon mekanismeissa. Palaan vielä alussa esitettyyn kysymykseen, miksi ihmiset ovat taipuvaisia pitämään kaikkea avaruuteen liittyvää muuttumattomana.

Saattaa olla, että pysyvän tilan käsitys kuuluu välttämättömänä kunkin kehittyvän kulttuurin lapsuusvaiheeseen, jolloin tähtitieteellinen tieto on rajoitettua. Sillä jos lähiympäristö on epästabili, ei pitkälle kehittyvää elämää, jos elämää yleensäkin, pääse syntymään. Näin on, jos planeetta etäännyy auringosta, tai jos tähden ollessa lähempänä galaksin ydintä ytimestä räjähtänyt

kaasupilvi kohdatessaan tähden aiheuttaisi sille satakertaisen kirkkauden, mikä sulattaisi planeetan kuoren. Jos taas lähiavaruudessa esiintyisi runsaasti supernovia, saattaisi luonnon stabiilisuuden tutkijalle käydä samoin kuin ammoin sitten kuolleille dinosauksille, joiden salaperäinen yhtäkkinen katoaminen satoja tuhansia vuosia sitten voidaan tulkita supernovan säteilemän kosmisten säteiden suihkun aiheuttamana tuhoisana mutaationa.

Kun siis tiedostetun lähiympäristön on välttämättä oltava suurin piirtein stabiilin, on tämä lähiympäristön antama, tietämättömyyttä ulommista ilmiöistä vaativa ja siis kulttuurin ”lapsuusvaiheelle” luonnollinen vakaan tilan vaikutelma ulotettu koskemaan myös etäisempää kosmosta. Samalla kun lähiympäristön stabiilisuus ylläkyttävästi sallii teorianmuodostuksen ja johtaa sitä harhaan, se myös tukee sitä. Siten Marsin säännöllinen ellipsiliike johti gravitaatiolain ja differentiaali- ja integraalilaskennan keksimiseen ja sitä kautta koko uudenaikaiseen tieteeseen. Merkuriuksen periheliliikkeen 43 ylimääräistä kaarisekuntia vuosisadassa auttoivat suhteellisuusteorian kehittämisessä. Levottoman kosmoksen kannalta ”realistisessa” ympäristössä nämä luonnon perusominaisuudet olisivat jääneet hypoteettiseltakin havaitisijalta keksimättä.

Entä sitten maailmankaikkeuden tila: pysyvä vai muuttuva? Selostamani nykyisen käsityksen mukaan sen havaittava osa laajenee. Siis saadaan kehittyvä maailmankaikkeus. Kuitenkin tämä 1900-luvun tähtitieteen tärkeimmäksi mainittu tulos saattaa joutua tarkistuksen kohteeksi. Esiintyy käsityksiä, joiden mukaan maailmankaikkeuden ainoa ominaisuus on sisältää kaikki materia, eikä sillä voi olla muita ominaisuuksia, kuten esim. laajenevuutta. Siten jos se systeemi, josta metagalaksi on osa, todella laajenee, olisi se vain yksi vastaavanlaisista systeemeistä, joista toiset voivat olla laajenevassa, toiset supistuvassa vaiheessa. Maailmankaikkeus olisi se pysyvä tila, jossa muutokset eri tasoilla tapahtuvat. (Radioesitelmä)

PIMEISTÄ SUMUISTA JA TÄHTIENVÄLISISTÄ HIUKKASISTA

Kalevi Mattila

AVARUUDEN TYHJYYS

Avaruus on näennäisesti valtavasta tähtipaljoudestaan huolimatta todellisuudessa melkeimpä pelkkää tyhjää tilaa. Tähtien koosta ja keskimääräisistä etäisyyksistä voidaan laskea, että Linnunratajärjestelmässämme tulee jokaista kuutiomillimetriä tähtiainetta kohden sadan kilometrin sivuinen kuutio tähtienvälistä avaruutta. Kuinka tyhjä on sitten tämä tähtienvälinen avaruus? Nykyisin tiedämme, että koko tähtienvälisessä avaruudessa olevan aineen massa on suunnilleen kymmenen prosenttia kaikkien tähtien yhteenlasketusta massasta. Tämä merkitsee, että edellisessä esimerkissämme saisimme sadan kilometrin sivuisen tyhjän kuutiomme nurkkaan kymmenesosa kuutiomillimetrin ainetta tähtienvälisestä avaruudesta, jos ajattelisimme sen puristetuksi veden tiheyttä vastaavaan tilaan. Todellisuudessa tähtienvälinen aine on jakaantunut yksittäisinä atomeina, molekyylinea ja noin kymmenestuhannesosa millimetrin suuruusina kiinteinä hiukkasina melko tasaisesti koko tähtienväliseen avaruuteen, jolloin kunkin avaruuden kuutiosenttimetrin osalle tulee keskimäärin yksi tähtienvälisen aineen atomi.

Tähtienvälisen vetykaasu muodostaa suurimman osan tähtienvälisestä aineesta ja myös muut alkuaineet ovat edustettuina suunnilleen samassa suhteessa kuin ne esiintyvät Auringossa ja muissa tähdissä. Tähtienväliset hiukkaset muodostavat vain muutamia prosentteja tähtienvälisen aineen määrästä, mutta ne varjostavat hyvin tehokkaasti tähtien valoa, minkä vuoksi niiden olemassaolo voidaan helposti havaita.

Tähtienvälisen aineen tutkimusta voidaan luonnehtia kolmeen eri haaraan jakautuneeksi:

1. Tähtienvälisen kaasun aiheuttamien absorptioviivojen olemassaolon tähtien spektreissä keksi J. Hartman jo vuonna 1904. Tutkimus tällä alalla pääsi kuitenkin käyntiin vasta kun O. Struve vuonna 1928 vakuuttavasti osoitti, että nämä viivat todellakin syntyvät tähtienvälisessä avaruudessa, kaukana tähtien kaasukehien ulkopuolella.
2. Tähtienvälisen hiukkasten muodostaman pölyn, tai olisi ehkä sattuvampaa puhua tähtienvälisestä savusta, tutkiminen alkoi varsinaisesti vuonna 1930 R. Trumplerin käänteentekevässä tähtienvälisessä avaruudessa tapahtuvaa valon heikkenemistä koskevan tutkimuksen todistettua lopullisesti näiden hiukkasten olemassaolon.



Kuva 1. Hülisäkki-sumu Etelän Ristin tähtikuviossa.

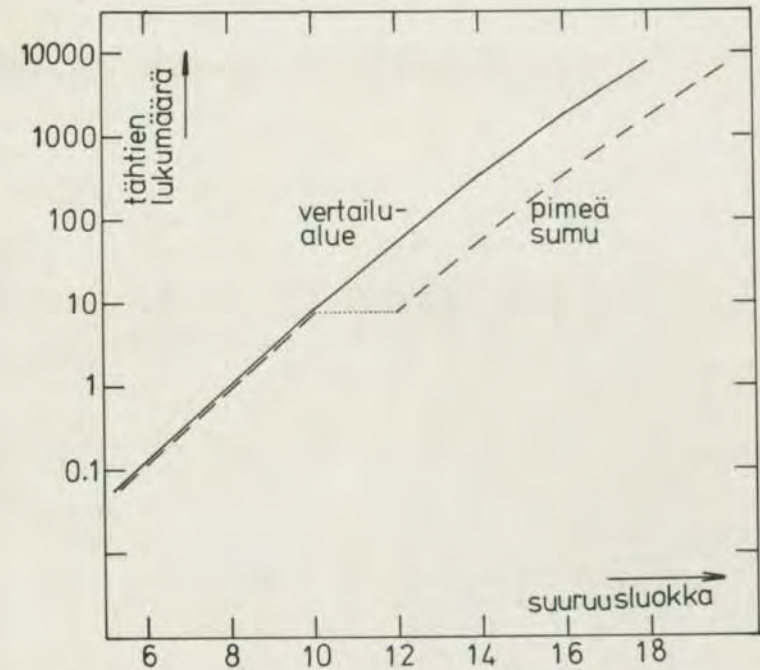
3. Radioastronomia on 1950-luvulta lähtien tuonut uusia mullistavia tuloksia tähtienvälisen kaasun tutkimuksessa. Vasta tällöin kävi lopullisesti selväksi tähtienvälisen aineen suuri merkitys Linnunratajärjestelmän oleellisena rakennusosana tähtien rinnalla. Tähtienvälisen vetykaasun spektriviiva 21 cm:n allonpituudella on näytellyt ratkaisevaa osaa tässä kehityksessä. Tämän viivan olemassaolon ennusti teoreettisesti van de Hulst 1944, ensimmäiset havainnot onnistuivat tekemään Ewen ja Purcell vuonna 1951.

Tähtienvälisen aineen tutkimus on viime vuosina kehittynyt yhdeksi astrofysiikan keskeiseksi tutkimusalaksi. Erityisen mielenkiintoinen on kysymys tähtien synnystä. Tiedämme nykyään, että tähdet ovat syntyneet ja että niitä parasta aikaakin syntyy tähtienvälisestä kaasusta. Emme kuitenkaan vielä tiedä, kuinka tämä kaikki tapahtuu. Tähtienvälisillä hiukkasilla arvellaan olevan eräänlainen ”käynnistysmoottorin” osa tähtien syntyprosessin alkuunpanijana, tähtienvälisen kaasun ollessa varsinaisena rakennusaineena.

Tässä kirjoituksessa käsittelemme edellä mainituista kolmesta kohdasta toista, tähtienvälisiä hiukkasia.

PIMEÄT SUMUT JA TÄHTIENVÄLINEN ABSORPTIO

Ehkä kaikkein ilmeisimmän todisteen tähtienvälisen aineen olemassaolosta saamme tarkastelemalla pitkään valotettuja, Linnunradan alueista otettuja



Kuva 2. Wolfin diagramma kaavamaisesti esitettynä. Vaaka-akselilla on tähtien suuruusluokka, pystyakselilla on niiden lukumäärä yhden neliöasteen suuruuisella taivaanpallon alalla (logaritmisesti esitettynä).

valokuvia. Tällaisissa kuvissa näemme melkein aina pimeitä sumuja, joiden vaikutus ilmenee siinä, että niiden suunnalla näkyy vähemmän tähtiä kuin ympäröivissä alueissa; tämän vuoksi ne näyttävät ympäristöään pimeämmiltä. Kuva 1 esittää Hiilisäkki-sumua, joka on Etelän Ristin tähtikuviossa keskellä Linnunradan eteläisen osan kirkasta vyötä. Pimeän sumun valoa imevää vaikutusta voidaan havainnollistaa ja tutkia ns. Wolfin diagramman avulla, jollainen on kaavamaisesti esitetty kuvassa 2. Diagramma perustuu tähtilaskentoihin, joilla tarkoitetaan yksinkertaisesti sitä, että lasketaan tietyllä taivaanpallon alalla (esim. neliöasteella) olevien, tiettyyn suuruusluokkaväliin (esim. 14. ja 15. suuruusluokan väliin) kuuluvien tähtien lukumäärä. Kun suoritetaan tämä laskenta yhä heikommille ja heikommille suuruusluokille, saadaan yhä suurempia ja suurempia tähtimääriä. Verrataan nyt pimeän sumun alueessa ja sen ulkopuolella olevissa vertailualueissa tehtyjä tähtilaskentoja toisiinsa: 1) Vertailualueissa tähtien lukumäärä kasvaa tasaisesti mentäessä yhä

heikompiin rajasuuruusluokkiin. 2) Pimeän sumun alueessa suoritettu laskenta antaa vertailualueen kanssa yhtäpitävän tuloksen tiettyyn suuruusluokkaan (kuviossamme 10:nteen) asti. Tätä suuruusluokkaa olevien tähtien keskimääräinen etäisyys on sama kuin pimeän sumun etäisyys. Tätä himmeämmät tähdet ovatkin jo sumun takana ja sumu heikentää niiden valoa tietyn vakio-osan, sumun paksuudesta riippuen; kuvassa 2 esitetyssä tapauksessa tähden valo heikkenee sumun läpi kulkiessaan kahden suuruusluokan verran. Kuten kuviosta havainnollisesti näkyy, aiheuttaa tämä valon imeytyminen sen, että tiettyyn rajasuuruusluokkaan asti pimeän sumun alueella näkyvien tähtien lukumäärä on pienempi kuin vertailualueessa.

Käsitys pimeiden sumujen luonteesta valoa imevänä tähtienvälisenä aineena ei kuitenkaan vielä niinkään myöhään kuin vuonna 1930 ollut kiistattomasti hyväksytty. Joidenkin tähtitieteilijöiden mielestä pimeät sumut olivat todella tähtiköyhä alueita, aukkoja Linnunradassamme. Tälle käsityskannalle oli omalta osaltaan voittamassa kannattajia tähtienvälisestä absorptiosta kohtaan tuolloin vielä tunnettu yleinen epäluulo ja vastenmielisyys. Tuohon aikaan, vuosisatamme alkuvuosina, useat tähtitieteilijät suorittivat tähtilaskentoihin perustuvia tutkimuksia tähtijärjestelmämme rakenteesta, ja nämä tutkimukset olisivat käyneet erittäin vaikeiksi ellei suorastaan mahdottomiksi, jos muiden hankaluuksien lisäksi olisi vielä jouduttu ottamaan huomioon tähtienvälisen aineen vaikutus. Tämän vaikutuksen huomiotta jättäminen johtikin sitten täysin vääräksi osoittautuneeseen kuvaan tähtijärjestelmämme rakenteesta: tuossa ns. Kapteynin maailmankaikkeudessa (hollantilaisen tähtitieteilijän Kapteynin mukaan) tähtitiheys väheni joka suuntaan auringosta pois päin mentäessä, aurinko oli tiettyssä mielessä tähtijärjestelmän keskipisteessä. Englantilainen tähtitieteilijä Eddington vertasi kerran tuon ajan tähtitieteilijöitä

mieheen, joka ei halunnut nukkua huoneessa, jossa tiedettiin kummittelevan. Kun mieheltä kysyttiin, uskoiko hän kummituksiin, hän vastasi: "En toki usko kummituksiin, mutta pelkään niitä". Ei liene liioiteltua sanoa, että tähtienvälinen aine oli se kummitus, joka oli vainonnut tähtijärjestelmämme rakennetta tutkivia tähtitieteilijöitä aina 1930-luvulle.

Lopullinen isku tähtienvälisen absorptioon hyväksi tässä kiistassa tuli 1930, kun Trumpler Lickin tähtitornilta julkaisi avoimien tähtijoukkojen etäisyyksiä koskevan tutkimuksensa, jossa hän vertasi kahdella eri menetelmällä mitattuja etäisyyksiä:

1) Ensinnäkin voidaan tähtijoukon etäisyys laskea sen näennäisestä kaariminuuteissa mitatusta läpimitasta taivaalla. Jos kahden tähtijoukon todelliset läpimitat (valovuosissa mitattuna) ovat yhtä suuret, mutta toinen niistä on kaksinkertaisen etäisyyden päässä, niin on selvää, että sen läpimitta kaariminuuteissa on puolet lähempänä olevan tähtijoukon läpimitasta. On myös selvää, ettei tähtienvälisellä absorptiolla ole vaikutusta tähän etäisyyden mittaamenetelmään.

2) Toisaalta voidaan tähtijoukon etäisyys laskea myös sen kirkkaimpien tähtien näennäisistä kirkkauksista. Tässä käytetään hyväksi sitä tosiasiaa, että jos kahdesta yhtä kirkkaasta tähdestä toinen on kaksinkertaisella etäisyydellä, niin sen näennäinen kirkkaus on neljäsosa lähempänä olevan tähden näennäisestä kirkkaudesta. Tämä laki pätee kuitenkin vain sillä nimenomaisella edellytyksellä, että avaruus on täysin läpinäkyvä. Mikäli avaruudessa on jokseenkin tasaisesti kaikkialle levinnyttä valoa imevää ainetta, on esimerkissämme kauempana olevan tähden näennäinen kirkkaus vielä vähemmän kuin neljäsosa lähempänä olevan tähden kirkkaudesta. Tämä taas merkitsee sitä, että jos emme ota huomioon tähtienvälisestä absorptiosta, arvioimme tämän etäisyyden liian suureksi.

Vertaamalla tällä forometrisellä menetelmällä ja ensiksi kuvatulla tähtijoukkojen läpimitaan perustuvalla menetelmällä saatuja etäisyyksiä Trumpler saattoi osoittaa, että tulokset ovat yhtäpitäviä vain siinä tapauksessa, että tähtienvälisessä avaruudessa on valoa imevää ainetta, joka heikentää tähtien valoa keskimäärin 0.6 suuruusluokalla 1000 parsekin* matkalla.

Tähtienvälisen aineen olemassaolon tultua näin lopullisesti toteennäytetyksi, sai myös kierteissumujen jakautuminen taivaanpallolle luonnollisen selvityksensä. Linnunradan läheisyydessä, noin 20^o levyisessä vyöhykkeessä taivaalla, ei kierteissumuja esiinny juuri ensinkään. Tämä johtuu tähtienvälisen aineen keskittymisestä ohuena levynä Linnunradan tasoon, jolloin ulkogalak-tisesta sumusta tuleva valo joutuu kulkemaan sitä pitemmän matkan tämän levyn sisässä, mitä lähemmäksi Linnunradan tasoa sen suunta taivaankannella lankeaa.

Aluksi tähtienvälisen aineen ajateltiin olevan tasaisesti jakautunut tämän

* parsek = 3.26 valovuotta.

levyn sisällä. Myöhemmät tilastollisiin menetelmiin perustuvat tutkimukset ovat osoittaneet, että tähtienvälinen aine on keskittynyt pienempiin ja suurempiin pilviin, joiden läpimitta on keskimäärin 5 parsekia ja jotka täyttävät vain noin 5 – 10 % koko tähtienvälisestä avaruudesta, loppuosan ollessa tyhjää. Pimeät sumut, joista aluksi oli puhe, ovat juuri esimerkkejä tällaisista pilvistä, jotka lähellä meitä olevina jättävät useimmat niiden suunnalla näkyvät tähdet pimentävään varjoonsa.

TÄHTIENVÄLINEN PUNERTUMINEN JA POLARISAATIO

Tähtienvälisen absorptioon tultua näytetyksi toteen, oli eräs ensimmäisistä tehtävistä sitä tarkemmin tutkittaessa verrata eri aallonpituuksilla suoritettuja mittauksia toisiinsa, ts. tutkia, riippuko absorptioon määrä valon aallonpituudesta. Tällä alalla tekivät uraa uurtavaa työtä amerikkalaiset Stebbins, Huffer ja Whitford valosähköistä mittausten menetelmää käyttäen. He mittasivat useiden spektriluokkaan B kuuluvien tähtien kirkkaudet ultravioletissa, sinisessä ja keltaisessa valossa. Näiden eri väreissä mitattujen kirkkaiden erotuksia ns. väri-indeksejä, voidaan käyttää tähden värin mittana: punaisen tähden kirkkaus on suurempi keltaisessa kuin ultravioletissa valossa, erittäin sinisen tähden kohdalla on asia päinvastoin. Koska kaikki tutkitut tähdet kuuluivat samaan spektriluokkaan, (jonka määrittäminen perustuu tiettyjen spektriviivojen esiintymiseen ja voimakkuuteen tähden spektrissä, eikä ole altis tähtienvälisen absorptioon vaikutuksille) olisi ollut odotettavissa, että niiden väritkin ovat suunnilleen samat. Kuitenkin jo pintapuolinen tarkastelu osoitti, että näiden ominaisväritään sinisten tähtien joukossa oli monia, joiden väri oli lähinnä keltainen tai suorastaan punainen, vastaten siten myöhempien spektriluokkien tähtien värejä. Voitiin osoittaa, että nämä tähdet olivat keskimäärin kauempana kuin väritään siniset B-luokan tähdet. Oli siis luultavaa, että kyseessä oli tähtienvälisessä avaruudessa tapahtuva värin punertuminen, eikä todellisen ominaisvärin erilaisuus. Tämä käsitys onkin sitten osoittautunut oikeaksi. Tähtienvälinen absorptio kasvaa likimain kääntäen verrannollisesti valon aallonpituuteen: absorptio on ultravioletissa valossa noin puolitoista kertaa niin suuri kuin keltaisessa valossa. Tämä yksinkertainen laki pätee kuitenkin vain spektrin näkyvässä osassa.

Tämä tähtienvälinen punertuminen on ollut tärkeimpänä osiittana tähtienvälisen absorptioon aiheuttavia hiukkasia tutkittaessa. Se on myös antanut mahdollisuuden tähtienvälisen absorptioon huomioon ottamiseen tähtijärjestelmämme rakennetta tutkittaessa. On nimittäin voitu osoittaa, että absorptio kasvaa suoraan verrannollisesti punertumisen voimakkuuteen, verrannollisuuskertoimen ollessa likimain vakio eri puolilla Linnunrataa.

Toisen tärkeän tähtienvälisen absorptioon ominaisuuden keksivät amerikka-

laiset tähtitieteilijät Hall ja Hilter tavallaan sattumalta. He yrittivät mitata eräiden pimennysmuuttujien valon polarisaatiota, joka oli teoreettisesti ennustettu, onnistumatta tässä yrityksessään, mutta onnistuen löytämään tähtienvälisen absorptioon aiheuttaman polarisaation. Tähtienvälinen aine vaikuttaa sen läpi loistavien tähtien valoon samalla tavoin kuin polarisaatiosuodatin, ts. se päästää tiettyssä tasossa värähtelevän valon helpommin lävitseen kuin tätä vastaan kohtisuorassa tasossa. Jos katsomme tällaista polarisoitunutta tähteä polarisaatiosuodattimen läpi, voimme havaita kuinka tähti himmenee ja kirkastuu aina polarisaatiosuodattimemme asennosta riippuen. Tämä kirkkauden muutos on kuitenkin vain muutamia prosentteja voimakkaimminkin polarisoituneissa tähdissä.

ETSINTÄKUULUTETUT HIUKKASET

Tähtienvälisestä absorptiosta puhuttaessa herää ennen pitkää kysymys, minkälaista on se aine joka aiheuttaa tähtienvälisen absorptioon, punertumisen ja polarisaation. Aivan ensiksi meidän on tehtävä itsellemme selväksi, kuinka tavattoman vähäisestä ainemäärästä tähtienvälisen absorptioon aiheuttajan kohdalla on kysymys. Kaiken tähtienvälisen aineen massalle voidaan johtaa yläraja tarkastelemalla sen gravitaatiovaikutusta tähtien liikkeissä. Hollantilainen tähtitieteilijä Oort päätyi tällaisella tarkastelulla arvioon, jonka mukaan tähtienvälisen aineen tiheys on korkeintaan $3 \cdot 10^{-24}$ grammaa kuutiometriä. Jos nyt ajattelemme sylinteriä, jonka poikkipinta on 1 cm^2 ja pituus 1000 parsekia $= 3 \cdot 10^{21} \text{ cm}$, siis tilavuus $3 \cdot 10^{21} \text{ cm}^3$, tulisi tämän sylinterin osalle vain noin sadasosa gramman verran tähtienvälisestä aineesta. Jos vielä otamme huomioon, että tähtienvälisen absorptioon aiheuttava aine muodostaa vain noin yhden prosentin koko tähtienvälisen aineen määrästä, päädyimme kymmenestuhannesosa gramman suuruiseen ainemäärään sylinterisämme. Jos k.o. aineen tiheys olisi 1 g/cm^3 , niin meillä olisi käytettävissämme 0.1 mm^3 ainemäärä. Jotta saavuttaisimme mitatun suuruisen tähtienvälisen absorptioon (noin 0.6 suuruusluokkaa 1000 parsekia kohden), olisi meidän saatava huomattava osa (tarkemmin sanoen 0.4 cm^2) sylinterimme poikkipinta-alasta peitettyksi. On selvää, ettemme onnistu tässä, jos aiomme pitää 0.1 mm^3 suuruisen ainemäärämme yhtenä kappaleena. Jos sen sijaan jaotamme tämän puolen millimetrin sivuisen kuutiomme miljooniksi pienemmiksi hiukkasiksi, kasvaa niiden yhteenlaskettu poikkipinta valtavasti. Onhan esimerkiksi hämmästyttävää, kuinka suuria ja pimeitä savupilviä muutamasta pienestä puupalasta tai jo yhdestä savukkeesta saa syntyvän, kun jakaa ne polttamalla lukuisiksi pieniksi savuhiukkasiksi.

Edellä sanotun perusteella voimmekin jo päätellä, että tähtienvälisen absorptioon aiheuttavien hiukkasten tulee olla alle tuhannesosamillimetrin

suuruisia. Joku saattaisi nyt ajatella, että on parasta ottaa heti kaikkein pienimpiä mahdollisia hiukkasia, ts. atomeja tai elektroneja. Kyseeseen tulevien hiukkasten koolle asettaa kuitenkin alarajan se, että jos hiukkasen koko on tuntuvasti valon aallonpituutta pienempi, niin sen tehokkuus valon varjostamisessa heikkenee hyvin nopeasti. Tämän voimme havainnollisesti todeta esim. siitä, että maapallon ilmakehä päästää sentään varsin hyvin valoa lävitseen, vaikka jokaisen neliösenttimetrin päällä on noin 1 kg ilmaa!

Kaikkein tehokkaimmin varjostavat valoa hiukkaset, joiden koko on valon aallonpituuden suuruusluokkaa, ts. muutamia kymmenestuhannesosa millimetrejä. Tämän kokoisten hiukkasten puolesta puhuu myös edellä mainittu absorptio kääntäen verrannollinen riippuvuus aallonpituudesta. Valon aallonpituutta paljon suuremmat hiukkaset varjostavat yhtä tehokkaasti kaiken väristä valoa, kun taas hyvin pienille hiukkasille, kuten ilmakehän molekyyleille, mainittu riippuvuus on paljon voimakkaampi riippuen aallonpituuden neljännessä potenssista (tästä johtuu taivaan voimakas sininen väri).

Tähtienvälisen aineen polarisaatiovaikutuksen perusteella voidaan päätellä, että hiukkaset eivät voi olla pallomaisia, vaan että niiden on oltava muodoltaan pitkänomaisia.

Tähtienvälisen hiukkasten koostumuksesta ja alkuperästä on esitetty lukuisia eri teorioita. Joitakin niistä on voitu osoittaa vääräksi, ainoatakaan ei ole voitu todistaa oikeaksi. Siitä huolimatta kannattaa tässä ehkä mainita muutamia eniten huomiota saavuttaneita ehdotuksia:

1) Metallihiukkaset. Ruotsalainen tähtitieteilijä Carl Schalén ehdotti vuonna 1936, että tähtienväliset hiukkaset olisivat samaa alkuperää kuin meteorit ja aurinkokunnassamme leijailleva hieno meteoriittipöly, joka aiheuttaa mm. eläinratavalon. Tältä kannalta katsoen tuntui luonnolliselta käsitellä metalli- ja nimenomaan rautahiukkasia, koska meteoriiteissa on runsaasti rautaa.

2) Jääkiteet. Jo vuotta ennen Schalénin ehdotusta oli hänen maanmiehensä Bertil Lindblad tuonut esille toisen ehdotuksen, jonka mukaan tähtienväliset hiukkaset olisivat syntyneet tähtienvälisestä kaasusta tiivistymällä. Tämä käsitys saavutti myöhemmin erityisesti hollantilaisen van de Hulstin edelleen kehittelemänä paljon kannatusta. Koska vety on tavallisin tähtienvälisen kaasun aineista ja happeakin on runsaasti tarjolla, tuntui luonnolliselta olettaa, että näin syntyvät hiukkaset olisivat jäätä.

3) Grafiittihiukkaset. Vaihtoehtona tähtienvälisessä avaruudessa tapahtuvalle hiukkasten syntyprosessille englantilaiset Wickramasinghe ja Hoyle julkaisivat vuonna 1962 teorian, jonka mukaan ns. hiilitähtien (R- ja N-spektriluokkien tähtiä, joiden spektreissä esiintyy poikkeuksellisen voimakkaita hiilen viivoja) atmosfääreissä tiivistyisi pieniä grafiittihiukkasia, jotka sitten tähden säteilypaineen puhaltamina kulkeutuisivat tähtienväliseen avaruuteen ja

peittyisivät siellä mahdollisesti jäävaippaan. Tämän teorian mukaan olisivat pimeät sumut siis savupilviä, jotka ovat syntyneet tähtien atmosfäärien hehkussa. Tässä pitäisi paikkansa sananlasku: "Ei tähtienvälistä savua ilman tulta."

4) Silikaattihiukkaset. Aivan äskettäin on ensiksi mainittu ehdotus tähtienvälisen hiukkasten meteoriittialkuperästä otettu hieman toiselta kannalta uudelleen esille. G. Herbig Amerikasta ehdotti eräiden uusien aurinkokunnan syntyä käsittelevien kemiallisten tutkimusten perusteella, että tähtienväliset hiukkaset syntyvät samalla kertaa planeettojen kanssa alkusumusta tiivistymällä, josta tähden säteilypainetta sitten puhaltaa ne tähtienväliseen avaruuteen. Hiukkaset olisivat tämän ehdotuksen mukaan koostuneet kondriittimeteoriittien tapaan pääasiassa piimineraaleista, ja olisivat siis lähinnä "tavallista" hiekkapölyä.

Kaikki nämä neljä ehdotusta pystyvät tyydyttävällä tavalla täyttämään edellä esitettyjen havaintotulosten asettamat ehdot, joista tärkeimmällä sijalla on ollut tähtienvälisen punertuminen. Emme kuitenkaan tiedä, onko mikään näistä neljästä vaihtoehdosta oikea: etsintäkuulutetut hiukkasemme ovat edelleen vapaalla jalalla. Lisää johtolankoja niiden tunnistamiseksi voimme saada tutkimalla niiden edellä käsiteltyjen ekstinktio- eli valonheikentämisominaisuuksien lisäksi myös niiden heijastamaa valoa. Näitä tutkimuksia käsittelemme seuraavassa kappaleessa.

HEIJASTUSSUMUT JA DIFFUUSI LINNUNRADAN VALO

Tähtienvälisen hiukkasten valoa heikentävä vaikutus eli ekstinktio perustuu kahteen eri ilmiöön:

1) Sirottumiseen, jossa hiukkaset ainoastaan heijastavat osan niihin lankeavasta valosta eri suuntiin, alkuperäisessä suunnassa etenevän valon heikentyessä tällöin vastaavalla määrällä.

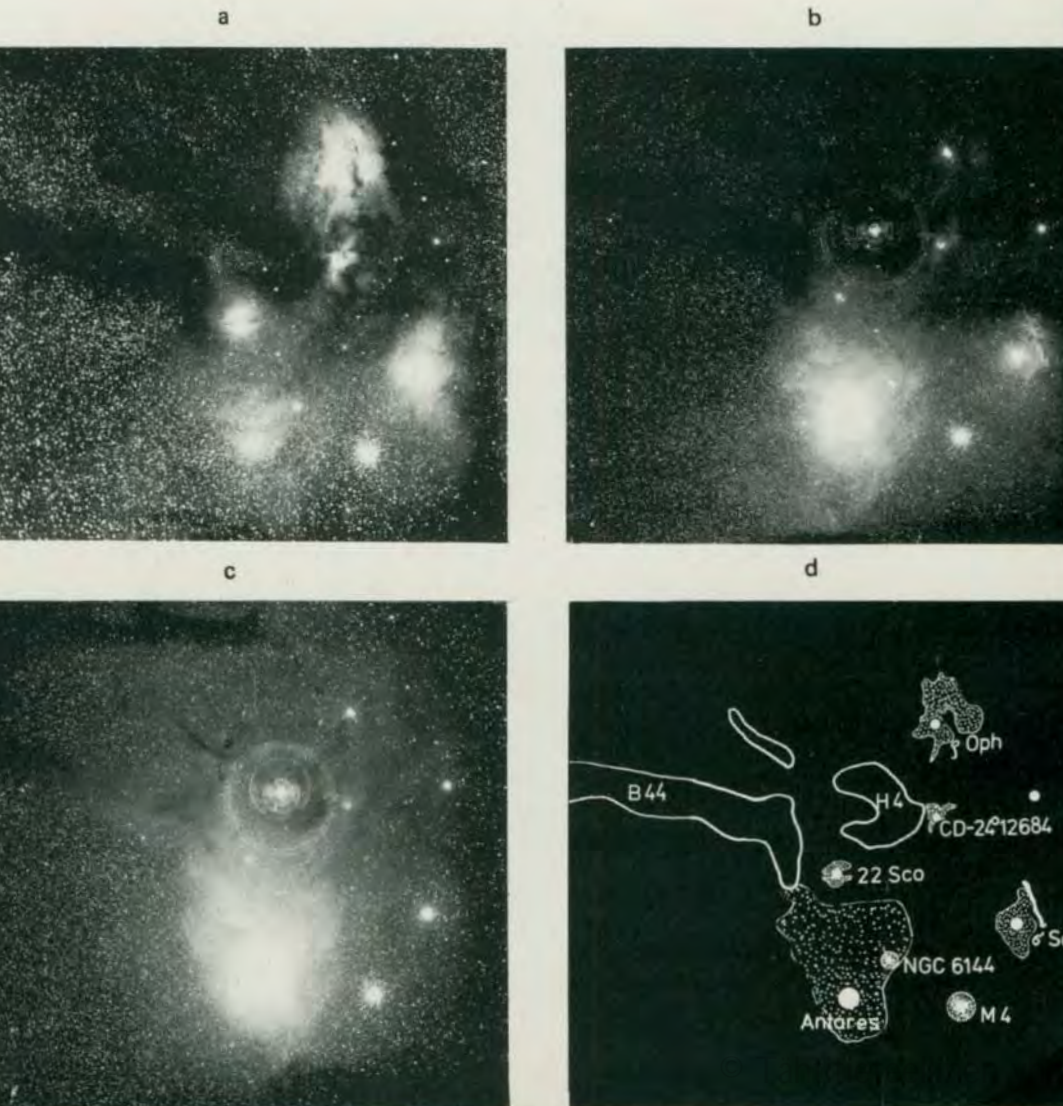
2) Absorptioon eli imeytymiseen, jossa valo todella imeytyy hiukkasiin ja muuttuu niissä lämpöenergiaksi, jonka hiukkaset säteilevät infrapuna-aaltoina takaisin avaruuteen.

Kysymys siitä, kumpi näistä ilmiöistä on tähtienvälisen hiukkasten tapauksessa tärkeämpi, on toistaiseksi vielä lopullista vastausta vailla.

Sirottuneen valon olemassaolo voidaan helposti todeta heijastussumuja tutkimalla. Heijastussumu on jonkin kirkkaan tähden lähelle joutunut tähtienvälisen hiukkasten pilvi, joka heijastaa tähden valoa sellaisenaan. Heijastussumun spektri on suora kopio sitä valaisevan tähden spektristä. Kauniita esimerkkejä heijastussumuista tarjoavat Seulasten monia tähtiä ympäröivät sumut, jotka ovat sinisiä niitä valaisevien tähtien tavoin. Punaista Antares-tähteä ympäröivä heijastussumu on sensijaan väriltään punainen. Tätä

sumua esittää kuva 3.

Heijastussumut osoittavat, että tähtienvälisen hiukkasten heijastuskyky eli albedo on huomattavan suuri. Tarkkaa lukuarvoa ei kuitenkaan ole voitu johtaa, koska sumun ja tähden keskinäistä etäisyyttä ei voida määrätä riittävän tarkasti. Tässä yhteydessä voidaan esittää kysymys sellaisten pimeiden sumujen pintakirkkaudesta, jotka eivät satu olemaan riittävän lähellä mitään kirkasta tähteä esiintyäkseen heijastussumuina. Tällaisessa tapauksessa voidaan kuitenkin laskea, että mikäli hiukkasten heijastuskyky on korkea, niin Linnunradan



himmeitten tähtien yhteenlaskettu valo riittää valaisemaan pimeän sumun niin kirkkaaksi, että se pitäisi voida mitata. Tällöin olisi myös odotettavissa, että huomattava osa koko Linnunradan kirkkaudesta johtuu tähtienvälisistä hiukkasista heijastuneesta tähtien valosta. Tämän ns. diffuusin linnunradan valon määräksi on todella voitu mitata noin 20–30 % Linnunradan koko kirkkaudesta. Samoin on voitu osoittaa, etteivät pimeät sumut ole aivan pimeitä, vaan että nekin heijastussumujen tapaan loistavat heikosti tähdiltä lainatussa valossa.

Kaikki nämä havainnot viittaavat selvästi siihen, että tähtienväliset hiukkaset eivät voi olla koostumukseltaan metallia tai grafiittia, koska tällaisten hiukkasten heijastuskyky olisi alhainen.

Voidaanko sitten perustellusti odottaa, että tähtienvälisen hiukkasten kemiallinen koostumus, koko ja muut ominaisuudet saataisiin lähivuosina selvitetyksi? Raketeista ja satelliiteista ilmakehän ulkopuolella suoritetut tutkimukset ovat tälläkin tähtitieteen alalla jo tuoneet huomattavia uusia tuloksia ennen muuta sen vuoksi, että havaintoja on voitu suorittaa lyhytaaltoisessa ultraviolettialueessa, jossa havaitsemisen maapallon ilmekehä estää maan pinnalta käsin. Tällaiset mittaukset ovat mm. osoittaneet, että tähtienvälinen ekstinktio on ultravioletissa suurempi kuin oli osattu odottaa jäähiukkasteorian perusteella. Grafiittihiukkaset taas vahvistavat asemaansa näiden havaintojen ansiosta.

Kuva 3. Kirkkaita ja pimeitä sumuja Scorpionin ja Käärmeenkantajan tähdistöjen alueella. Kuvat on otettu kolmessa eri värialueessa: (a) sinisessä, aallonpituus $\lambda \approx 3500 \text{ \AA} - 5000 \text{ \AA}$; (b) punaisessa, $\lambda \approx 6000 \text{ \AA} - 6800 \text{ \AA}$; (c) infrapunaisessa, $\lambda \approx 6700 \text{ \AA} - 9000 \text{ \AA}$. (Kuvissa b ja c esiintyvät terävät renkaat ovat Antareksen heijastuskuvia Schmidt-kameran korjauslasista.) Pürroksessa (d) on identifioitu alueessa näkyvät sumut. B44 ja H4 ovat pimeitä sumuja. Antareksen ympärillä on laaja heijastussumu, joka näkyy heikosti sinisessä valossa otetussa kuvassa (a), mutta hyvin kirkkaana punaisessa (b) ja infrapunaisessa (c) valossa otetuissa kuvissa. Antares itse on hyvin punainen tähti (spektriluokka M 2), minkä vuoksi heijastussumukin on punainen. Sen sijaan sinisten tähtien ρ Ophiuchii (B 2), CD - 24°12684 (B 3), 22 Scorpium (B 2) ja σ Scorpium (B 1) ympärillä olevat heijastussumut ovat sinisiä väriltään ja näkyvät ainoastaan sinisessä valossa otetussa kuvassa (a). Kuvassa (b) näkyy tähden σ Scorpium oikealla puolella pitkänomainen sumu, joka ei näy kuvissa (a) eikä (c). Kyseessä on emissiosumu, joka säteilee huomattavan osan säteilyenergiastaan vedyn Ha-viivassa ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$), joka sattuu punaisessa valossa otetun kuvan aallonpituusalueeseen. Kuvasta 3 käy havainnollisesti ilmi, miten heijastussumut ja emissiosumut voidaan erottaa toisistaan eri värialueissa otettujen kuvien avulla.

Lopuksi voisimme vielä tarkastella kysymystä, onko ehkä mahdollista avaruuteen lähetetystä avaruusaluksista käsin kerätä tähtienvälistä ainetta ja sitten, esim. mikroskoopin ja kemiallisen analyysin avulla, suoranaisesti ”katsoa”, mitä nämä arvoitukselliset hiukkaset ovat? Tähän kysymykseen meidän täytyy vastata kielteisesti: tähtienvälisten hiukkasten määrä on niin vähäinen, että yhden kuutiokilometrin suuruudesta tilasta löytyisi keskimäärin vain yksi hiukkanen, joka lisäksi olisi kooltaan vain noin kymmenestuhannesosamillimetrin suuruinen. Vaikka nuo hiukkaset olisivat timantteja, kuten eräät amerikkalaiset tähtitieteilijät (ehkä lisätäkseen yleistä kiinnostusta aiheeseen) äskettäin ”Nature” -lehdessä ehdottivat, ei niiden etsiminen ja keräily tähtienvälisestä avaruudesta muodostuisi kovinkaan houkuttelevaksi tehtäväksi.

ETELÄISESTÄ TÄHTITAIVAASTA JA SEN TUTKIMISESTA

Kalevi Mattila

KATSELEMME ETELÄISTÄ TÄHTITAIVASTA

Suomen maantieteellisellä leveydellä, ”täällä Pohjantähden alla”, oleva tähtitaivaan katselija näkee vuoden mittaan tähtitaivaasta alueen, joka ulottuu taivaan pohjoisnavasta 30° päähän taivaan ekvaattorin eteläpuolelle ja kattaa siis noin 75 prosenttia koko taivaanpallosta. Lähellä eteläistä horisonttia olevat tähdet näkyvät kuitenkin huonosti ilmakehässä tapahtuvan valon heikkenemisen vuoksi ja jäävät siten vähemmälle huomiolle. Pohjoiseen tähtitaivaaseen tutustunutta tähtitieteen harrastajaa kiinnostaa kuitenkin kovasti kysymys, miltä tähtitaivas näyttää eteläisen horisontin tuolla puolen. Eteläistä tähtitaivasta esittäviä karttoja tutkimalla ja planetaariossa käymällä voi asiasta saada jonkinlaisen kuvan.

Minulla oli vuonna 1968 tilaisuus tehdä havaintojentekomatka eteläiselle pallonpuoliskolle, tarkemmin sanoen Boydenin Observatorioon Etelä-Afrikassa. Boydenin Observatorion maantieteellinen leveys on -29° , joten eteläinen tähtitaivas on etelänapaa myöten sieltä hyvin havaittavissa. Tutustuttuani aikaisemmin vain pohjoiseen tähtitaivaaseen oli suuri osa taivaalla näkyvistä tähdistä ja tähtikuvioista uusia ja tuntemattomia. Uutta ja outoa oli myös auringon ja muiden taivaankappaleiden ”takaperoinen” vuorokautinen liike. Johtuen havaintopaikan läheisyydestä päiväntasaajaan, aurinko, kuu ja tähdet nousivat ja laskivat miltei kohtisuorasti horisonttia vasten, mikä suuresti helpotti planeettojen näkymistä. Esim. Merkurius oli havaittavissa melkein pimeällä aamutaivaalla. Myös Eläinratavallo oli aamuin ja illoin nähtävissä pitkänä kapeana valokeilana auringon nousun tai laskun suunnassa. Ehkä kaikkein vaikuttavin eteläisen taivaan näkymistä on kuitenkin eteläinen Linnunrata, jonka kirkkaat tähtipilvet Jousimiehestä (Sagittarius) Kölin (Carina) tähtikuvioon ovat aivan ”häikäiseviä” pohjoiseen Linnunrataan verrattuna ja joiden pintakirkkaus mittaustenkin mukaan on tähän verrattuna moninkertainen. Taivaan taustan tummuudella on tietysti myös huomattava merkitys Linnunradan tähtipilvien havaitsemisessa. Troopikeissa taivas on tummempi kuin täällä napapiirin tuntumassa, jossa esim. revontulet ja lumesta heijastunut valo lisäävät taivaan pintakirkkautta.

Tarkastelemme nyt aluksi eteläisen taivaan tähtikuvioita kuvassa 1 olevan, taivaanpallon eteläistä puoliskoa esittävän kartan avulla. Kartan reuna-alueilla esiintyy meille entuudestaan tuttuja tähtikuvioita: Orion, Iso Koira (Canis major), Vesikäärme (Hydra), Korppi (Corvus), Neitsyt (Virgo), Vaaka (Libra),



Kuva 1. Eteläisen tähtitaivaan tähtikuviot.

Skorpionin (Scorpius) ja Käärmeenkantajan (Ophiuchus), joista monet tosin näkyvät vain osittain taikaa huonosti Suomessa. Monet näistä tähtikuvioista ovat meille vähemmän tuttuja, koska niissä ei ole kirkkaita tähtiä, jotka kiinnittäisivät huomiota lähellä horisonttiakin ollessaan.

Suomessa kokonaan näkymättömistä tähtikuvioista ja kirkkaista tähdistä mainitsin erityisesti seuraavat: Kanopus Kōlissä (Carina) on taivaan toiseksi kirkkain tähti, $-0,9$ suuruusluokkaa. α ja β Centauri ovat Kentaurin

tähtikuvion kaksi kirkkainta tähteä, näistä α Centauri on meitä lähinnä oleva tähti. Muita kirkkaita tähtiä ovat Achernar, Eridanus-virran laajan tähtikuvion päätähti, α ja β Crucis Etelän Ristin (Crux) kuuluisassa tähtikuviossa, Fomalhaut Etelän Kalassa (Piscis austrinus) ja punainen tähti Antares Skorpionissa, joka tosin on Suomessakin nähtävissä, mutta hyvin matalalla. Muista helposti tunnistettavista etelän tähtikuvioista, joissa ei kuitenkaan ole kovin kirkkaita tähtiä, löydämme kartastamme vielä mm. seuraavat: Kurki (Grus), Kauris (Capricornus), Ahtari (Ara) ja Susi (Lupus). Monet eteläisen tähtitaivaan nimistä ovat peräisin paljon myöhemmältä ajalta kuin pohjoisen. Tämä ilmenee teknilliseen aikaan liittyvissä tähtikuvioiden nimissä, kuten: Harppi (Circinus), Ilmapumppu (Antlia), Mikroskooppi, Teleskooppi ja Sulatusuuni (Fornax).

TUTKIMUSKOhteita eteläisellä tähtitaivaalla

Ensi näkemältä saattaisi vaikuttaa siltä, että eteläisen tähtitaivaan tutkiminen ei sinänsä toisi mitään periaatteellista lisäystä pohjoisen tähtitaivaan tutkimuksesta saatuihin tuloksiin. Voisi ajatella, että eteläisen taivaan tutkiminen vain lisää käytettävissä olevan tutkimusmateriaalin määrän kaksinkertaiseksi. Näin tietysti onkin asianlaita esim. normaalien tähtien osalta. Useilla tärkeillä tähtitieteen tutkimusaloilla eteläisellä taivaalla on kuitenkin huomattavan keskeinen merkitys.

1) Meidän Linnunratajärjestelmämme, joka on litteän kiekon muotoinen spiraaligalaksi, projisoituu taivaanpallolle siten, että Linnunradan taso näkyy isoympyränä. Tämän isoympyrän suunnassa näkyvien tähtien luku on suurempi kuin muualla taivaalla. Kuvassa 2 näemme sen osan tätä Linnunradan vyötä, joka näkyy vain eteläiselle pallonpuoliskolle ja ulottuu Isoista Koirista Jousimiehen tähtikuvioon. Syy siihen, miksi eteläinen Linnunrata on kirkkaampi kuin sen pohjoinen osa, selviää ehkä parhaiten kuvasta 3, jossa on havainnollistettu Auringon sijaintia meidän Linnunradassamme. Kuvaan merkityt koordinaatit ilmaisevat galaktisia pituuksia, joissa mitattuna Linnunratamme keskus on suunnassa $l = 0^{\circ}$. Raja pohjoisen ja eteläisen Linnunradan välillä kulkee kohdassa, jossa $l = 33^{\circ}$ toisella, ja $l = 213^{\circ}$ toisella puolen. Linnunradan keskus ja sitä ympäröivät kirkkaat alueet projisoituvat Linnunradan vyön eteläiselle osalle, ja pohjoisen puoliskon osaksi tulevat huomattavasti tähtiköyhemmät Linnunradan ulko-osat. Tätä kuvaa tarkasteltaessa käy myöskin selväksi, että tällä hetkellä suuren mielenkiinnon kohteena oleva Linnunradan kierteisrakenteen tutkiminen ja yksittäisten kierteishaarojen paikallistaminen vaatii nimenomaan eteläiseltä pallonpuoliskolta tehtäviä havaintoja. Näissä tutkimuksissa käytetään kohteita, jotka



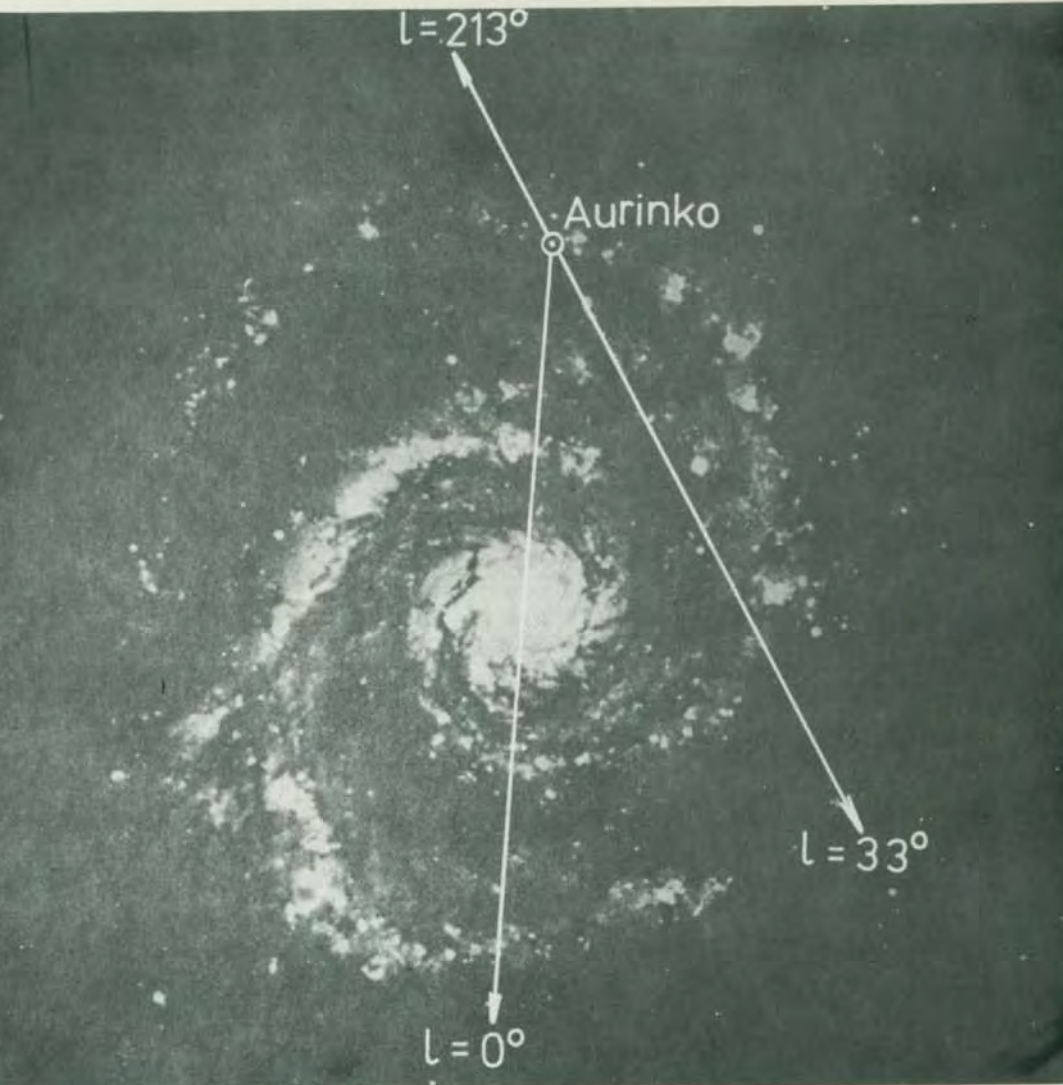
Kuva 2. Eteläinen Linnunrata Jousimiehestä (vasemmassa reunassa) Isoon koiraan (oikeassa reunassa). Kuvan vasemmassa reunassa oleva suuri kirkas pilvi on Jousimiehen tähtipilvi. Sen yläpuolella olevien pimeiden sumumassojen taakse kätkeytyy Linnunradan keskus. Melkein kuvan keskellä näkyy pimeä Hiilisäkki-sumu. Kuvan oikean puoliskon alareunassa on suuri Magellanin pilvi ja sen välittömässä läheisyydessä kirkas Kanopus-tähti. Joitakin Ison Koiran tähtiä näkyy aivan kuvan oikeassa reunassa, mutta Sirius jää kuva-alan ulkopuolelle. Kuvan on valmistanut Hans Vehrenberg yhteensuhteellalla 88 ottamastaan yksittäisestä kuvasta.

keskittyvät voimakkaasti kierteishaaroihin, mm. avoimia tähtijoukkoja, kaasusumuja ja varhaisten spektriluokkien (O ja B) tähtiä. Näitä kohteita esiintyykin hyvin runsaasti eteläisessä Linnunradassa.

Myöskin pallomaisien tähtijoukkojen lukumäärä on suurempi eteläisellä taivaalla, koska ne keskittyvät voimakkaasti Linnunradan keskuksen ympärille. Pallomaisia tähtijoukkoja ja muita Linnunradan keskuksen ympärille keskittyviä kohteita, kuten RR Lyrae-muuttuvia, voidaankin tämän vuoksi käyttää Linnunradan keskuksen paikallistamiseksi. Linnunradan keskustaahan ei optillisella alueella voida suoraan havaita, koska tähtienvälisen avaruuden

pölymassat peittävät sen taakseen; tähtienvälisen pölyn arvioidaan heikentävän Linnunradan keskukselta tulevaa valoa 25llä suuruusluokalla! Sen sijaan infrapuna-alueessa, tuhannesosa millimetriä pitemmillä aallonpituuksilla, on Linnunradan keskus onnistuttu havaitsemaan aivan viime vuosina. Sopusoinnussa edellä mainittujen epäsuorien menetelmien ja radioastronomisten havaintojen kanssa tämän infrapunalähteen koordinaateiksi saatiin: $\alpha = 17^{\text{h}} 42^{\text{m}} 30^{\text{s}}$, $\delta = -28^{\circ} 59'4$. Vaikka siis Linnunradan keskus olisi juuri ja juuri Etelä-Suomestakin havaittavissa, niin on selvää, että sitä voidaan parhaiten tutkia eteläiseltä pallonpuoliskolta käsin, jossa se on havaittavissa lähellä zeniittiä. Useiden kierteissumujen, mm. Andromedan suuren sumunkin, keskuksessa esiintyy noin 10 parsekin (33 valovuotta) suuruinen kirkas ydin, jollainen em. Linnunradan keskuksessa havaittu infrapunalähdekin ilmeisesti on. Näiden ytimien fysikaalinen luonne on toistaiseksi vielä arvoitus. Niillä arvellaan olevan tiettyä samankaltaisuutta kvasaarien kanssa.

2) **Magellanin pilvet** ovat toinen tärkeä tutkimuskohde eteläisellä taivaalla. Kuvassa 4 nähdään suuri ja pieni Magellanin pilvi, mukana on kolmantena kolmion kärkipisteenä Eridanus-virran α -tähti Achemar. Magellanin pilvet ovat vain 20° päässä taivaan etelänavasta, joten niiden havaitseminen käy päinsä



Kuva 3. Spiraaligalaksi M 51, jonka päälle on pürretty Auringon sijainti ja galaktiset koordinaatit meidän Linnunratajärjestelmäämme vastaten.

vain eteläisen pallonpuoliskon observatorioista. Magellanin pilvet ovat kuuttomina öinä paljainkin silmin helposti havaittavissa, ja ne näyttävät lähinnä Linnunradasta irronneilta pilvenkappaleilta. Suuren pilven kokonaisläpimitta pitkään valotetuilla levyillä on noin 12° , pienen pilven noin 4° . Magellanin pilvet ovat Linnunrataa lähinnä olevat ekstragalaktiset sumut, niiden etäisyydet ovat 150 000 valovuotta (suuri pilvi) ja 200 000 valovuotta (pieni pilvi).



Kuva 4. Magellanin pilvet ja Achernar.

Ekstragalaktisessa mittakaavassa nämä ovat pieniä etäisyyksiä. Seuraavaksi lähimmän galaksin, Andromedan suuren sumun, etäisyys on jo noin kymmenkertainen, eli 2 miljoonaa valovuotta. Magellanin pilvien etäisyydellä oleva, 0. absoluuttisen suuruusluokan tähti — jollaisia ovat esim. A-spektriluokan tähdet ja RR Lyrae-muuttuvat — näkyy meidän kaukoputkissamme 19. suuruusluokan tähtenä ja on siis vielä helposti havaittavissa suuremmilla kaukoputkilla. Andromedan galaksille vastaava suuruusluokka on 24, mikä on jo nykyisen havaintotekniikan aivan äärimmäisellä rajalla.

Yksittäisten tähtien havaitsemismahdollisuus Magellanin pilvissä on sen vuoksi tärkeää, koska tällöin voidaan saada tietoa yksittäisten tähtien koostumuksesta ja tutkia Magellanin pilvien tähtijoukkojen (avoimien ja pallomaisten) Hertzsprung-Russell-diagrammoja. Se seikka, että kummankin Magellanin pilven tähdet ovat käytännöllisesti katsoen samalla etäisyydellä meistä, antaa mahdollisuuden päätellä kunkin tähden havaitun näennäisen

kirkkauden perusteella sen absoluuttisen kirkkauden, kunhan pilvien etäisyydet ensin tunnetaan. Koko ekstragalaktisen etäisyydenmittauksen kannalta on Magellanin pilvillä hyvin keskeinen merkitys. Jonkin erikoisen tähtityypin, esim. kefeidien, absoluuttinen kirkkaus voidaan ensin johtaa Magellanin pilvien avulla ja käyttää tätä tulosta sitten muissa galakseissa havaittavien Kefeidien avulla näiden galaksien etäisyyden määrittämiseen. Hyvin kuuluisa ja merkittävä Magellanin pilvien tutkimukseen liittyvä keksintö oli Henrietta Leavittin vuonna 1912 saama tulos, että Magellanin pienen pilven kefeidien valonmuuttumisen jakson logaritmi on suoraan verrannollinen tähden suuruusluokkaan siten, että mitä pitempi jakso, sitä kirkkaampi tähti.

Tämän hetkessä Magellanin pilvien tutkimuksessa on voimakkaasti esillä kysymys siitä, poikkeako Magellanin pilvien tähtien ja kaasusumujen kemiallinen koostumus meidän Linnunratamme koostumuksesta. Tämän seikan selvittäminen olisi erittäin tärkeä galaksien syntyä ja kehitystä koskevien tutkimusten kannalta. Nähdään siis, että Magellanin pilvillä on monella tavoin keskeinen merkitys ”porttina” ekstragalaktiseen avaruuteen.

HAVAINNONTEKIJÖITÄ JA TÄHTITORNEJA ETELÄISELLÄ PALLONPUOLISKOLLA

Olemme edellä nähneet, kuinka eteläinen tähtitaivas tarjoaa monessa suhteessa paremmat edellytykset tähtitieteilijälle hänen pyrkiessään selvittämään maailmankaikeuden rakennetta. Tähtitieteellinen havaintotyö on ollut kuitenkin keskittynyt aivan viime vuosiin asti lähes yksinomaisesti pohjoisen pallonpuoliskon maihin.

Ensimmäiset observatoriot eteläisellä pallonpuoliskolle perustettiin merenkulun tarpeita palvelemaan. Niinpä Hyväntoivonniemelle perustettiin vuonna 1820 Kuninkaallinen Observatorio, tehtävänäään auttaa Englannin meriherruuden säilyttämisessä.

Hyvin perustavan laatuista työtä eteläisen tähtitaivaan tutkimuksessa teki John Herschel, kuuluisan William Herschelin poika. Hän otti tehtäväkseen kartoittaa eteläisen tähtitaivaan sumut, kaksoistähdet ja tähtijoukot. Tämän työn oli pohjoisella tähtitaivaalla suorittanut William Herschel. Vuonna 1834 John Herschel matkusti perheineen ja suurine kaukoputkineen Hyväntoivonniemelle ja kartoitti vuoteen 1837 mennessä suuren määrän siihen asti tuntemattomia eteläisen taivaan sumuja, tähtijoukkoja ja kaksoistähtiä. Kuvassa 5 nähdään Herschelin 18 1/4 tuuman kaukoputki Hyväntoivonniemelle pystytettynä. Herschelin tutkimusmatka oli jo valmisteluvaiheessaan herättänyt suunnatonta huomiota kaikkialla maailmassa. Tätä hyväkseen käyttäen amerikkalainen sanomalehti ”The New York Sun” alkoi julkaista, muka



Kuva 5. John Herschelin 18 1/4 tuuman peilikaukoputki Hyväntoivonniemelle pystytettynä vuonna 1834. John Herschelin oma piirros.

Herschelin kirjeisiin perustuen, raporttia siitä, mitä Herschel valtavan tehokkaalla kaukoputkellaan Hyväntoivonniemen poikkeuksellisen edullisissa havainto-olosuhteissa oli nähnyt Kuun pinnalla: ”Oudonmuotoisia lintuja, hyönteisiä ja kaloja, mitä moninaisemman värisiä maisemia, erikoisia kasvillisuusnäkömiä, ja ryhmiä Kuun asukkaita, joilla oli siivet selässään.” Kaikki oli niin hyvin kerrottu ja varustettu Herschelin kaukoputkea ja matkaa koskevilla yksityiskohtaisilla tiedoilla, että kunnan newyorkilaiset uskoivat tähän petokseen muutaman päivän ajan, ja sanomalehden painosmäärä kohosi huikkeasti.

Meidän vuosisatamme alkukymmenillä kunnostautui eteläisen taivaan tutkimisessa erityisesti amerikkalainen Harvardin Observatorio ja sen johtaja Harlow Shapley. Harvardin eteläisellä havaintoasemalla, aluksi Perussa ja myöhemmin Boydenin Observatoriolla Etelä-Afrikassa, otettiin suuri määrä valokuvauslevyjä mm. Magellanin pilvistä, Linnunradan alueista, pallomaisista tähtijoukoista ja galakseista. Kaikkein huomattavimpia tutkimustuloksia oli



Kuva 6. Euroopan Etelä-Observatorioon suunnitteilla olevan 3.6 metrin kaukoputken luonnos.

edellä mainittu, pienen Magellanin pilven kefeidejä koskeva Henrietta Leavittin keksintö vuodelta 1912. Toinen käänteentekevä keksintö oli Harlow Shapleyn saama tulos, jonka mukaan pallomaisten tähtijoukkojen muodostaman järjestelmän ja koko Linnunratajärjestelmämme keskus on Jousimiehen tähtikuvion suunnassa, noin 50 000 valovuoden päässä. Koko järjestelmän halkaisijaksi hän sai 300 000 valovuotta.

Muista eteläisen pallonpuoliskon jo vanhemmista observatorioista on vielä syytä erityisesti mainita Australiassa oleva Mount Stromlon Observatorio, jonka 74 tuuman teleskooppi on, yhdessä Etelä-Afrikassa olevan englantilaisten omistaman Radcliffin teleskoopin kanssa, toistaiseksi vielä suurin eteläiselle pallonpuoliskolle pystytetyistä kaukoputkista. Australiassa onkin jo monien vuosikymmenien ajan tehty arvokkaita tutkimuksia eteläisestä Linnunradasta ja etelän taivaan galakseista. Maan myönteistä suhtautumista tähtitieteeseen kuvastaa ehkä sekin, että Australian lipussa on kuvattuna Etelän Ristin tähtikuvio.

Eteläisen tähtitaivaan tutkimusta, ja myöskin tähtitieteilijöiden kansainvälistä yhteistyötä ajatellen on viime vuosina todella merkittäväksi muodostunut eräiden Länsi-Euroopan maiden (Belgia, Hollanti, Länsi-Saksa, Ranska, Ruotsi, Tanska) yhdessä perustama ”Euroopan Etelä-Observatorio”. Tämä observatorio, jota parhaillaan vielä rakennetaan Chilessä yli 2400 metrin korkuiselle La Silla-vuorelle, tulee valmistuttuaan olemaan eräs maailman parhaiten varustettuja. Pääkaukoputkeksi tulee 3.6 metrin peiliteleskooppi, joka tulee suorituskyvyltään vastaamaan lähes Mt Palomarin 5 metrin kaukoputkea. Tämä kaukoputki ei ole vielä valmis, mutta kaksi pienempää instrumenttia on jo ollut käytössä jonkin aikaa, nimittäin 1 metrin fotometrinen teleskooppi ja 1.5 metrin spektrograafinen teleskooppi. Valmiina on myös 1 metrin Schmidt-teleskooppi. Tämän lisäksi on La Silla-vuorella joukko pienempiä instrumentteja. Kuvassa 6 nähdään malli valmisteilla olevasta 3.6 metrin kaukoputkesta, jonka pitäisi valmistua muutaman vuoden kuluessa.

Chilen erinomaisiksi osoittautuneet havainto-olosuhteet ovat houkutelleet muitakin rakentamaan sinne observatorioita. U.S.A. on rakentamassa La Sillaa lähellä olevalle Cerro Tololo-vuorelle observatoriota, josta puuttuu enää sen pääinstrumentti, 4 metrin peilikaukoputki.

Myös Australiaan on pystytetty vastaavan kokoinen, 3.8 metrin läpimittaisella peilillä varustettu teleskooppi yhteistyönä australialaisten ja englantilaisten kesken.

Voidaan siis todeta, että eteläisellä pallonpuoliskolla avautuu lähivuosina tähtitieteelliselle tutkimukselle erinomaiset mahdollisuudet. Edellä mainituilla suurilla kaukoputkilla tehtävien tutkimusten voidaan odottaa olennaisesti laajentavan tietämystämme oman Linnunratamme ja koko maailmankaikkeuden rakenteesta.

TÄHTIEN SPEKTRIT

Osmi Vilhu

JOHDANTO

Tähtien spektroskopian avulla saadaan tietoa tähtien uloimmista pintakerroksista. Normaalisissa tähdessä lämpötila ja tiheys tasaisesti pienenevät keskustasta pinnalle päin mentäessä. Keskustassa ydinreaktioissa vapautuva energia siirtyy suuri-energistien fotonien muodossa yhä ylempiin kerroksiin, kunnes se vihdoin saapuu tähden pinnalle. Tämä on kaikkein tärkein energian siirtymismekanismi tähdissä. Kyseisen säteilynsiirtymisprobleeman parissa työskentelivät 1900-luvun alussa erikoisesti K. Schwarzschild ja A. Eddington. Joissakin paikoissa energia voi myös siirtyä massavirtausten eli konvektion avulla mikä voidaan saada selville teoreettisesti. Voidaan myös osoittaa että massavirtausten avulla siirtyvä energia tähden pintakerroksessa on vain murto-osa säteilemällä siirtyvästä energiasta suunnilleen auringon tyyppisissä ja sitä kuumemmissa tähdissä. Aurinkoa kylmemmissä pääsarjan tähdissä sekä punaisissa jättiläisissä tällaiset massavirtaukset ovat tärkeitä pintakerroksissa.

Aurinkoa kylmemmissä pääsarjan tähdissä sekä punaisissa jättiläisissä tällaiset massavirtaukset ovat tärkeitä pintakerroksissa.

Tähden pintakerroksien rakenteen sekä säteilyn spektrin tulkitseminen mielivaltaisen aallonpituuden kohdalla (jatkuvan spektrin tai spektriviivan kohdalla) edellyttää atomien ja säteilykentän välisten vuorovaikutusten tuntemista. Tämä taas edellyttää atomi- ja kvanttifysiikan ilmiöiden tuntemista. Viime vuosisadan lopun tuotannolliset tarpeet (mm. höyrykoneiden voimakas parantaminen) johtivat räjähdysmäiseen kokeellisen fysiikan kehittämiseen. Esimerkkeinä voi mainita mm. kaasujen ominaisuuksien tutkimisen ja spektraalianalyysin (Kirchoff ja Bunsen 1860-luvulla). Näin myös jouduttiin tekemisiin mikrofysiikan ilmiöiden kanssa, jotka aikaisemmin tunnetuista luonnon ilmiöistä laadullisesti erilaisina aiheuttivat monissa agnostisismia ja pessimismia objektiivisen todellisuuden lainalaisuuksien selville saamisesta ja jopa sen olemassaolostakin. Tältä pohjalta syntyivät kuitenkin spektroskopiassa olennaiset kvanttifysiikan menetelmät sekä sellaiset tähtien säteilyn ymmärtämisessä tärkeät tulokset kuten atomien jakautuminen energiatilojen mukaan Boltzmanin kaavan avulla ja Sahan ionisaatiokaavat (1920-luvulla), joiden perusteella voidaan laskea missä tiloissa tähden pintakerroksien atomit ovat jos kaasun lämpötila ja tiheys tunnetaan. Tämähän on tietenkin tärkeää koska spektriviivat syntyvät atomien siirtyessä tiloilta toisille.

Erään filosofisen suuntauksen ns. positivismin perustaja Auguste Comte oli v. 1835 ilmestyneessä teoksessaan "Cours de philosophie positive" tullut sellaiseen pessimistiseen johtopäätökseen että periaatteessa on täysin mahdotonta koskaan saada selville mistä aineesta aurinko ja taivaankappaleet koostuvat ja minkä luonteisia nämä ovat. Tämä väite oli täysin tämän filosofisen suuntauksen mukaista, koska positivistit kehoittivat vain tutkimaan "tosiasioita sellaisinaan" jättäen asioiden ja esineiden todellisen luonteen selvittämisen kaiken tutkimuksen ulkopuolelle. On helppo ymmärtää että tällainen asioihin suhtautuminen saa helposti ikäänkuin kääntöpuolekseen mitä erilaisimpia idealistisia katsomuksia, jotka juuri huolehtivat tämänkaltaisten asioiden tulkinnoista. Bunsenin ja Kirchoffin spektraalianalyysi missä varhaisessa vaiheessa vain verrattiin laboratoriokaasun spektriä auringon ja tähtien spektreihin, ja selitti jo tuolloin tähtien spektreissä esiintyneet tummat viivat, avasi kuitenkin uuden keinon tähtien tutkimisessa ja osoitti vääreksi Comten pessimistisen ennustuksen.

SPEKTRILUOKITTELU

Spektriluokittelun perusteista

Edellä hyvin pintapuolisesti mainittuja fysikaalisia periaatteita soveltaen on mahdollista saada selville, että normaalin tähden pintakerroksen rakenne (lämpötila, paine, tiheys jne. syvyyden funktiona) ja tähden spektri (säteilyn intensiteetin riippuvuus aallonpituudesta) riippuvat vain pinnan efektiivisestä lämpötilasta T_{eff} , pinnalla vaikuttavasta gravitaatiosta g sekä pintakerroksien kaasun kemiallisesta koostumuksesta. Vaikka efektiivinen lämpötila matemaattisesti määritelläänkin tietyllä tavalla ($L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$, L = tähden luminositeetti eli tähden säteilemä energia aikayksikössä, R = tähden säde, σ = Stefan-Boltzmanin vakio), on se samalla tyyppinen tähden pintakerroksen lämpötila. g taas on sama kuin painovoiman kiihtyvyyden GM/R^2 missä G on gravitaatiovakio, M tähden massa ja R tähden säde. Kun siis kaksi lukua T_{eff} ja g sekä kemiallinen koostumus on annettu, voidaan tähden spektri laskea (edellyttäen että tunnemme kaikki esim. spektriviivan syntymiseen vaikuttavat fysikaaliset tekijät). Kääntäen, spektroskooppisten havaintojen voidaan odottaa antavan tietoa näistä kahdesta luvusta T_{eff} ja g sekä tähden kemiallisesta rakenteesta. Edelleen T_{eff} ja g riippuvat tähden massasta, säteestä ja luminositeetista mitkä kemiallisen koostumuksen lisäksi luonnehtivat koko tähden rakennetta. Tähtien pintakerroksien rakenteen teorian sekä spektroskooppisten havaintojen kehittämisellä on näin ollen myös merkitystä tähtien rakenteen ja kehityksen tutkimisessa. Edelleen spektroskooppiset havainnot tarjoavat epävarmoista tilastollisista menetelmistä riippumattoman

keinon tähtien absoluuttisen kirkkauden ja näin ollen myös tähtien etäisyyksien määrittämiseksi ja näin myös esim. oman linnunratamme mittasuhteiden selville saamiseksi.

Tähtien spektroskopian eräänä tehtävänä on siis johtaa teoreettisesti havaittu spektri (jatkuva spektri sekä spektriviivat) kun T_{eff} , g ja kemiallinen koostumus on annettu. Näitä muutellaan kunnes teoreettisesti laskettu ja havaittu spektri yhtyvät. Koska pintakerroksien rakenteen ja kaikkien spektriviivojen teoreettinen tutkiminen vaativat hyvin laajoja numeerisia laskuja on suuren määrän tähtiä käsittelemisen perusteellisesti tällä tavoin hankalaa, ja aikaisemmin fysikaalisten tietojen ja tietokoneiden puuttuessa jopa mahdotonta. Tämän takia onkin tähtien spektreistä pyritty löytämään joitakin harvoja helposti mitattavia suureita jotka erityisen herkästi riippuvat T_{eff} :stä ja g :stä eivätkä ole kovin herkkiä pienille muutoksille kemiallisessa koostumuksessa.

Gravitaatio on hyvin tiukasti sidottu luminositeettiin. Tähtien gravitaation ja luminositeetin välillä onkin hyvin yksikäsitteinen vastaavuus annettua T_{eff} :n arvoa kohti, mikä johtuu tähtien tavasta kehittyä Hertzsprung-Russel- eli HR-diagrammissa pääosan elämästään. Onkin tunnettua että tähdillä jotka ovat samassa paikassa T_{eff} -L-diagrammissa (eli HR-diagrammissa) on suurinpiirtein samanlaiset spektrit, ainakin ensimmäisessä approksimaatiossa. Tällaisia tähtiä sanotaan normaaleiksi tähdiksi. Joillakin tähdillä on erilaiset spektrit vaikka niillä onkin samat T_{eff} ja L. Tällaisia tähtiä sanotaan taas pekuliaarisiksi tähdiksi. Esim. joukolla B-tähtiä, joiden spektrit ovat normaalien tähtien kaltaisia, on vahvoja emissioviivoja (Be-tähdet). A- ja F-tähtien joukossa on suuri joukko tähtiä joissa tietyt absorptioviivat ovat hyvin epänormaaleja (Ap- ja Am-tähdet). Edelleen F-, G- ja K-tähtien joukossa on ainakin kaksi ryhmää joissa on erilaiset kemialliset runsaudet: toisessa metallipitoisuus on samanlainen kuin auringossa ja toisessa jopa 500 kertaa pienempi.

Pekuliaaristen tähtien tutkimisessa pyritäänkin löytämään muita tekijöitä kuin T_{eff} ja L jotta nekin voitaisiin sisällyttää yleiseen luokitteluun. Mutta ns. normaaleillekin tähdille instrumenttien kehittyessä on osoittautunut että myös muut tekijät, kuten tähden pyöriminen akselinsa ympäri ja erilaiset massavirtaukset tähden pinnalla, vaikuttavat spektriviivoihin. Edelleen tietomme erilaisista tähtijoukoista ja tähtien kehityksestä osoittavat että eroja kemiallisissa runsauksissa on odotettavissa eri-ikäisissä normaaleissakin tähdissä. Tulevaisuudessa onkin pyrittävä siihen että kaikki tähdet saataisiin samaan yleiseen luokitteluun jossa jokaisen tähden paikka voidaan riittävästi perustella.

Harvardin luokittelu

Sen jälkeen kun I. Newton v. 1669 katseli Venuksen spektriä kesti kauan

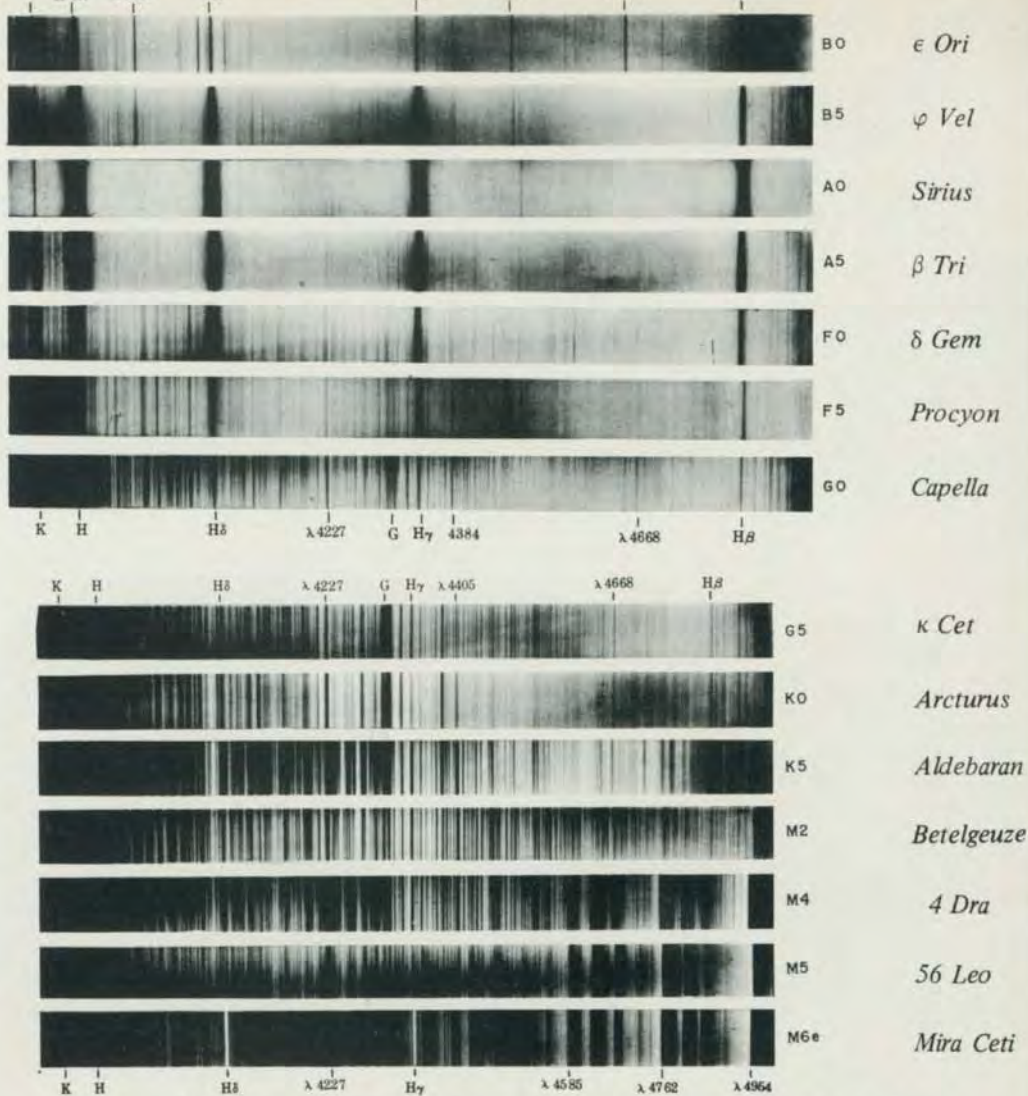
ennenkuin Fraunhofer v. 1815 jälkeen vähänkin perusteellisemmin tutki ja jossain määrin myös luokitteli auringon, Castorin ja Sirkuksen spektrejä. Tämän jälkeisillä useilla vanhoilla, kuten Secchin v. 1863 spektriluokittelulla, on nykyään vain historiallista mielenkiintoa. Vasta kun Henry Draper v. 1872 valokuvasti ensimmäisen tähden Vegan spektrin avautui mahdollisuus pitkäjännitteiseen luokitteluun. H. Draperin kuoleman jälkeen hänen vaimonsa luovutti instrumentit ja summan rahaa Harvardin observatoriolle luokittelutyön jatkamiseksi. Täydellisin vv. 1918–1924 julkaistu Henry Draper Catalogue (HD) sisältää 225 000 tähteä ja kaiken kaikkiaan Harvardissa on luokiteltu yli 390 000 tähteä. Luokittelu on tehty sellaisten viivojen mukaan jotka riippuvat pääasiassa lämpötilasta T_{eff} (eikä gravitaatiosta tai luminositeetista). Tämän mukaan tähdet jaetaan 12 luokkaan joita mielivaltaisesti merkitään kirjaimilla:

Q, P, W, O, B, A, F, G, K, M, S, C.

Joka luokka jakautuu puolestaan kymmeneen alaryhmään joita merkitään numeroilla 0, 1, ... 9. Esimerkiksi tyyppi B9 on jossain B8:n ja A0:n puolivälissä. Luokka Q on varattu noville, P planetaarisille sumuille, W Wolf-Rayet tähdille ja C runsaasti hiiltä (C) sisältäville tähdille. M-tähdissä on titaanioksidi (TiO)-absorptioviivaita ja S-luokan tähdissä voimakkaita zirkonium-oksidi (ZrO) absorptioviivaita. O-tähtien spektreissä on kerran ionisoituneen heliumin (HeII) pääasiassa Pickeringin sarjan absorptioviivoja. Nämä ovat käytännöllisesti katsoen jo hävinneet luokan B tähdissä, joissa on A-luokkaan päin heikkeneviä neutraalin heliumin (HeI) ja vahvenevia vedyn Balmerin-sarjan ($H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ jne.) viivoja. A-luokassa ei enää ole HeI -viivoja vaan tälle luokalle ovat tyypillisiä voimakkaat ja leveät vedyn Balmerin sarjan viivat. F-luokassa Balmerin-viivat ovat yhä vielä vahvoja mutta samalla kun ne heikkenevät G-luokkaan mentäessä alkaa ilmestyä vahvistuvia metalliviivoja kuten kerran ionisoituneen kalsiumin H ja K viivat (CaII aallonpituuksien 3968 Å:n ja 3933 Å:n kohdalla). Luokka G sisältää auringon kaltaisia tähtiä joissa metalliviivat ovat jo niin vahvoja että vedyn viivat, vaikkakin ovat vielä verrattain vahvoja, eivät enää vedä huomiota puoleensa siinä määrin kuin metalliviivat. K-luokan spektri muistuttaa auringon pilkkujen spektriä, esimerkiksi kerran ionisoituneen kalsiumin H- ja K-viivat ovat yhä vielä vahvoja mutta neutraalin kalsiumin viiva CaI 4227 on tullut vielä paljon näitä voimakkaammaksi (kuva 1).

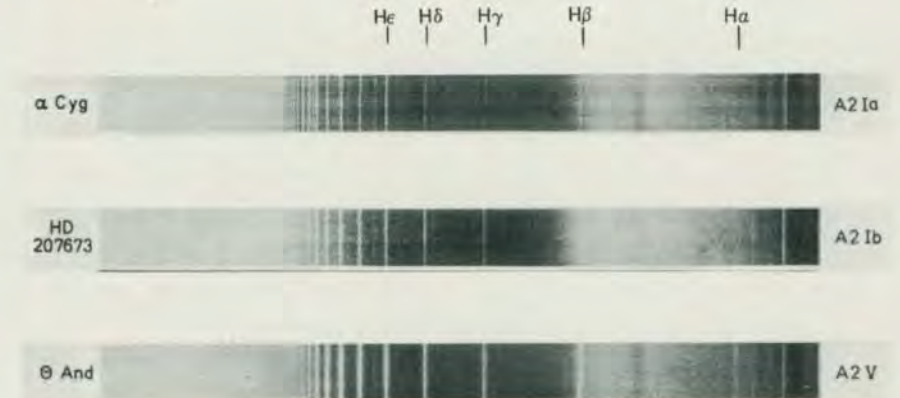
Yerkesin luokittelu

Yksityiskohtaisen kaksi-dimensionaalisen spektriluokittelun joka ottaa huomioon myös saman lämpötilan omaavien tähtien mahdolliset erilaiset luminositeetit, ts. sekä T_{eff} :n että L:n, ovat tehneet W. Morgan, P. Keenan ja



Kuva 1: Harvardin spektriluokat B0:sta M6:een. Huomaa neutraalin heliumin viivojen 4472 Å:n ja 4026 Å:n kohdalla heikkeneminen B0:sta A0:aan, vedyn viivojen ($H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$, He) suuri voimistuminen A0:aan saakka ja heikkeneminen siitä eteenpäin mentäessä. Metalliviivat (esim. ionisoituneen kalsiumin H ja K viivat, neutraalin kalsiumin viivat CaI 4227 sekä neutraalin raudan viivat FeI 4384, 4668, 4405) vahvistuvat jatkuvasti myöhempään spektriluokkiin päin mentäessä. Molekyylihyöt ovat silmään pistäviä myöhäisemmissä luokissa (matalammissa lämpötiloissa). Titaani-oksidiin vyöt, joiden reunat sattuvat aallonpituuksien 4585, 4762 ja 4954 Å:n kohdille, ovat vahvoja M-tyyppin tähdissä. Spektriluokkaa edustavien tyyppillisten tähtien nimet ovat myös mainitut, Mira Cetiille kirjain "e" tulee siitä että Balmerin viivat ($H\gamma$, $H\delta$) ovat emissiossa. (Aller, Stellar Atmospheres).

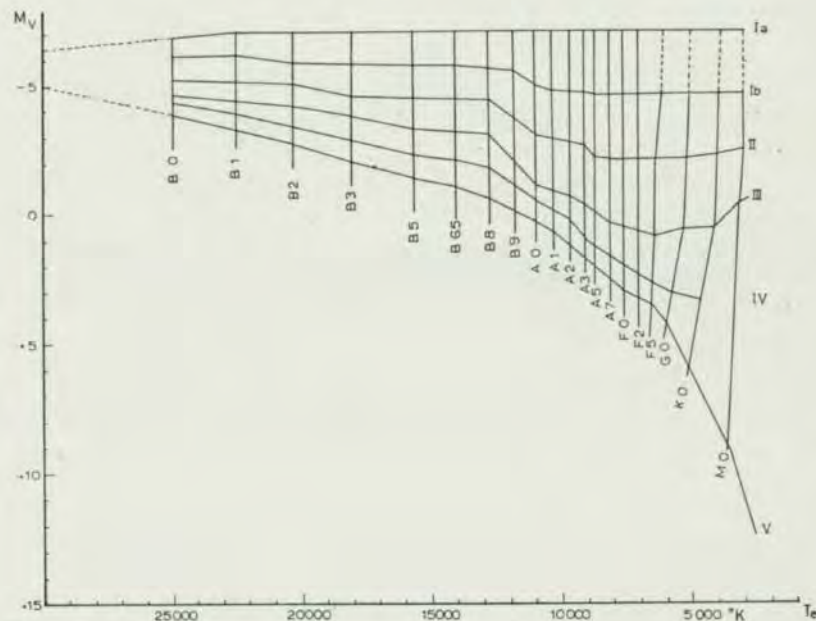
E. Kellman Yerkesin observatoriosta. Tätä heidän luokitteluaan sanotaankin MKK-luokitteluksi tai Yerkesin luokitteluksi. Lämpötilan T_{eff} eli spektriluokan kriteereinä he ovat käyttäneet lähes samoja Harvardin luokkien kanssa ts. edellä mainittuja spektriluokkaa kuvaavia kirjaimia. Toinen heidän parametrisa on ns. luminositeettiluokka, jota merkitään roomalaisella numerolla spektriluokan jälkeen: Ia – kirkkaimmat ylijättiläiset, Ib – heikkommat ylijättiläiset, II – kirkkaimmat jättiläiset, III – normaalit jättiläiset, IV – alijättiläiset, V – pääsarjan tähdet. Kuten Harvardinkin luokittelu samoin myös Yerkesinkin luettelot perustuvat spektrogrammien visuaaliseen tarkasteluun ja luminositeettiluokkien ollessa kyseessä erikoisesti sellaisten viivojen tarkasteluun jotka herkästi riippuvat luminositeetista (eli gravitaatiosta) ja heikosti lämpötilasta. B – spektriluokan ja varhaisen A-luokan tähdille vedyn Balmerin viivat tulevat huomattavasti heikommiksi ja terävämmiksi mentäessä luokasta V luokkaan I. Spektriluokissa F ja G voidaan luminositeettikriteerinä käyttää esimerkiksi kerran ionisoituneen strontiumin viivojen SrII 4077 ja 4215 ja eräiden neutraalin raudan viivojen (esim. FeI 4062, 4085, 4144, 4250) välisiä suhteita koska nämä reagoivat lämpötilaan suurinpiirtein samalla tavalla mutta FeI viivat heikkenevät luminositeetin kasvaessa (gravitaation pienetessä) tai ainakin voimistuvat paljon vähemmän kuin SrII-viivat joten suhteet SrII/FeI kasvavat mentäessä luokasta V luokkaan I. Yleensä samat kriteerit niin spektriluokalle kuin luminositeettiluokallekin pätevät vain pienellä alueella HR-diagrammia ja lukuisia erilaisia kriteerioita on käytettävä jotta päästäisiin koko HR-diagrammin kattavaan yhtenäiseen luokitteluun (kuva 2).



Kuva 2: Yerkesin luminositeettiluokan (gravitaation) vaikutus spektriluokan A2 spektriin. Huomaa vedyn viivojen (erikoisesti $H\gamma$) heikkeneminen ylempiin luminositeettiluokkiin mentäessä. (Bonner, Atlas für Objektiv prisma spektren).

Eri spektriluokkien tähdet HR-diagrammissa

Kuvasta 3 näkee millä alueilla HR-diagrammissa (tässä absoluuttinen visuaalinen magnitudi M_V – efektiivinen lämpötila T_e) eri MKK-luokittelun tähdet sijaitsevat. Kuhunkin spektriluokkaan liittyvä efektiivisen lämpötilan asteikko on saatu sovittamalla havaitut spektriluokan määräävät kriteerit teoreettisesti laskettuun spektriin. Absoluuttisen magnitudin asteikko spektriluokkaa A0 myöhemmille ja luminositeettiluokkien II ja V välillä oleville tähdille on saatu niiden tähtien avulla joille trigonometriset parallaksit tunnetaan. B-tähtien etäisyydet ovat liian suuria trigonometrisen parallaksien määrittämiseksi. Niille absoluuttiset magnitudit on kalibroitu joko ominaisliikkeistä tai Scorpius-Centaurus ryhmässä, Orionin joukossa, ja Perseuksen kaksoisjoukossa esiintyvien B-tähtien avulla. Näiden joukkojen etäisyydethän on saatu eri tavoin selville. Luokan Ia ja Ib yli-jättiläisten absoluuttiset magnitudit ovat kuvassa hyvin epävarmoja.

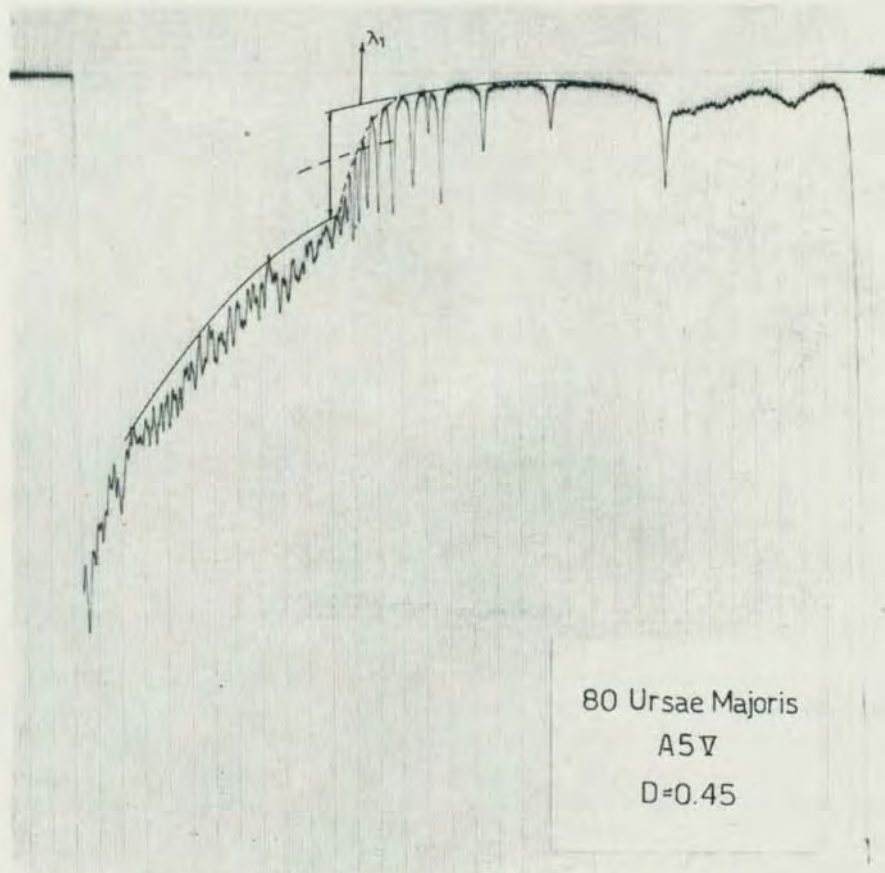


Kuva 3: MKK-spektriluokat (absoluuttinen visuaalinen magnitudi M_V , efektiivinen lämpötila T_e) diagrammissa.

Näin ollen pelkästään katsomalla tähden spektriä ja määräämällä sille MKK-luokka on kuvan 3 avulla mahdollista saada selville esimerkiksi absoluuttinen magnitudi M_V . Vertaamalla tätä havaittuun tähden näennäiseen magnitudiin m_V , on mahdollisuus tunnetulla tavalla saada selville ainakin suurinpiirtein tähden etäisyys. Tähtien rakenteen ja kehityksen teorian avulla voidaan myös todeta että eri massaiset tähdet sijaitsevat ja kehittyvät HR-diagrammissa siten että käyrät joilla gravitaatio on sama yhtyvät likimain kuvan 3 luminositeettiluokka-käyriin. Niinpä esim. pääsarjan tähdillä (luokka V) gravitaatio on suurinpiirtein kaikilla sama ja jättiläisillä (III) noin 10 kertaa pienempi kuin pääsarjassa. Näinhän tietysti on oltavakin koska kaksi-dimensio-naalinen MKK-luokittelu perustuu juuri kriteerioille jotka ovat herkkiä lämpötilan ja gravitaation vaihteluille, mitkä puolestaan taas suuresti määräävät sen miltä tähden spektri näyttää.

Yksityiskohtaisempi luokittelu

Jos haluamme hyvin tarkkaan määrätä tähden pintakerroksen rakenteen sekä kemialliset runsaudet ei karkea spektriluokittelu enää riitä. Tällöin on myös tähden spektristä pystyttävä tarkasti mittaamaan erilaisia asioita. Suoraan valokuvauslevyltä (kuvat 1 ja 2) tämä on hankalaa. Koska säteilyn aallonpituus spektrograafin avulla otetuissa levyissä kasvaa kohtisuorassa suunnassa spektriviivoja vastaan (kuvissa 1 ja 2 vasemmalta oikealle) voimme esimerkiksi mikrofotometrillä fotometroida levyt laidasta laitaan aallonpituuden suunnassa. Tällainen mikrofotometri rekisteröi hyvin tarkkaan levyn mustumisen ts. sille tähdestä saapuneen säteilyn intensiteetin. Kuvassa 4 onkin esitetty 80 UMa:n spektristä Haute de Provencon observatoriossa pienellä spektrograafilla otetusta levystä tehty mikrofotometri-käyrä. Vaaka-akselilla kulkee säteilyn aallonpituus ja pystyakselilla säteilyn intensiteetti tai magnitudi. Absorptioviivat esiintyvät nyt tällaisessa käyrässä alaspäin suuntautuvina piikkeinä. Neljä voimakkainta piikkiä kuvassa oikealta vasemmalle ovat vedyn Balmerin viivat $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ ja $H\epsilon$. Kuvassa aallonpituuden λ_1 kohdalla (noin 3700 Å) sijaitseva putous on ns. Balmerin epäjatkuvuus mikä aiheutuu tähden pintakerroksien vetyatomien absorptio-ominaisuuksien jyrkästä muuttumisesta tämän aallonpituuden omaavan valon suhteen. 80 UMa:n putouksen suuruus on 0.45 magnitudia. B-sekä varhaisen A-spektriluokan tähdille Balmerin epäjatkuvuutta käytetään hyvin yleisesti tähden efektiivisen lämpötilan T_{eff} selville saamiseksi koska Balmerin epäjatkuvuus riippuu vain hyvin heikosti tähden gravitaatiosta. Mitä pienempi lämpötila sitä suurempi Balmerin putous on. Balmerin $H\gamma$ -viivan intensiteetti ja samoin myös viivan profiili taas puolestaan ovat näille spektriluokille hyvin herkkiä mittaamaan gravitaatiota. (On luonnollista että on käytössä lukuisia muitakin sekä fotometrisiä että spektroskooppisia vastaavaan



Kuva 4: Mikrofotometri-käyrä 80 UMa:n spektristä (kts. teksti).

tarkoitukseen soveltuvia menetelmiä). Kiinnittämällä näin T_{eff} ja g voidaan muut tärkeät parametrit kuten kemiallinen koostumus sitten määrätä havainnoista käyttämällä tietenkin apuna tähtien pintakerroksien teorioita sekä spektriviivojen syntyyn vaikuttavia fysikaalisia tietoja.

ALKUAINEEET TÄHDISSÄ

Edellä on lyhyesti ollut puhetta siitä että tähden pintakerroksien rakenne (lämpötilan, paineen, tiheyden riippuvuus syvyydestä) voidaan saada selville esimerkiksi vertaamalla teoreettisesti laskettuja Balmerin epäjatkuvuutta (tai

koko jatkuvaa spektriä) ja $H\gamma$ -viivaa vastaaviin havaintuihin. Jotta voisimme saada selville myös kemialliset runsaudet on tutkittava kaikkia tähden spektrissä esiintyviä viivoja ja pyrittävä mittaamaan niiden voimakkuudet. Tällainen on yleensä mahdollista vain sellaisista spektreistä jotka on saatu riittävän suuren kaukoputken coudé-fokukseen sijoitetulla spektrograafilla joka vielä pystyy hajoittamaan eri aallonpituudet riittävän kauas toisistaan, ts. riittävän suuridispersioisilta levyiltä, missä levyllä millimetrin matkalle mahtuu vain muutama ångström. Tällaisella levyllä heikotkin spektriviivat erottuvat, eikä vain voimakkaat kuten kuvan 4 mikrofotometri-käyrässä.

Spektriviivan voimakkuus ja samoin myös viivan muoto riippuvat muun muassa

- k.o. alkuaineen määrästä tähden pintakerroksissa,
- siitä määrästä mikä k.o. alkuaineen atomeista on sellaisissa kvanttitiloissa joiden välisenä siirtymisenä spektriviiva on syntynyt (Tämä voidaan laskea Sahan ja Boltzmanin kaavojen avulla jos tähden pintakerroksen rakenne (lämpötila, paine, tiheys) tunnetaan.),
- atomin absorptiokerroimesta joka sisältää laboratoriossa mitattavat siirtymistodennäköisyydet atomin eri tilojen välillä sekä myös lämpötilasta ja paineesta riippuvia viivan levenemiseen vaikuttavia (pääasiassa kvanttimekaniikan avulla laskettavia) tekijöitä. Tämä atomin absorptiokerroinkin voidaan periaatteessa laskea jos tähden pintakerroksen rakenne (siis lähinnä T_{eff} ja g) tunnetaan. Tähän atomin absorptiokykyyn vaikuttavat vielä lisäksi spektriviivan synnyttävien atomien liikkeet, kuten erilaiset turbulennitiset nopeuskentät tähden pinnalla, sekä myös esimerkiksi mahdolliset voimakkaat magneettikentät. Nämä taas puolestaan eivät vaikuta esimerkiksi jatkuvaan spektriin ja Balmerin $H\gamma$ -viivaan mistä tähden pintakerroksen rakenne määrättiin. Tällöin näiden vaikutus spektriviivaan on aina pyrittävä erikseen määrittämään kussakin tapauksessa erikseen.

Periaatteessa siis kun T_{eff} ja g on saatu määrättyksi esimerkiksi Balmerin putouksen ja $H\gamma$ -viivan avulla (spektriluokissa B–A), voidaan mielivaltaisen alkuaineen määrä tähden pinnalla määrätä saattamalla teoreettisesti lasketut k.o. alkuaineen viivojen voimakkuudet ja muodot vastaamaan tähden spektrissä havaittuja.

KEMIALLISET RUNSAUDET TÄHTIEN PINTAKERROKSISSA

Edellä kaavamaisesti esitettyjä periaatteita on käytetty kemiallisten runsauksien määrittämiseksi erilaisissa tähdissä. Seuraavat asiat ovat osoittautuneet tärkeiksi tähtien ja tähtienvälisen aineen kehityksen tutkimisessa ja joihin spektroskooppiset tutkimukset antavat lisävalaistusta:

- 1) Kehittymättömien tähtien pintakerroksien kemiallinen koostumus on sama

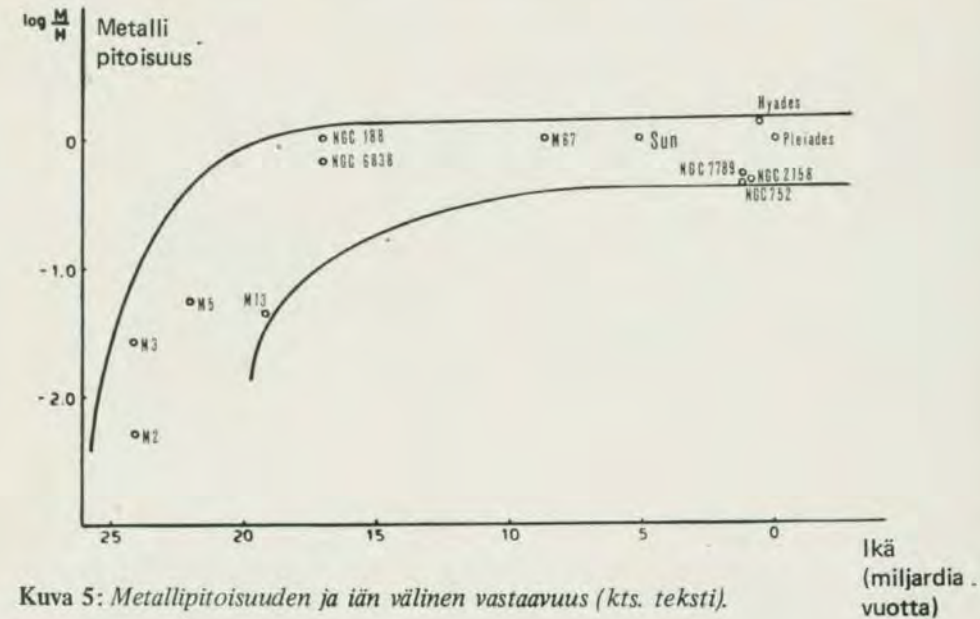
kuin sen tähtienvälisen aineen mistä tähti on muodostunut (Tämä on varsin yleinen käsitys joskin on mainittava neuvostoliittolaisen V. Ambartsumianin hypoteesi että tähtien syntyminen tiheästä proto-aineesta saattaa olla myös tärkeä monissa tapauksissa). Tämä siksi että sekoittuminen tähden keskustan aineen (missä ydinreaktiot sattuvat) ja pintakerroksien aineen välillä on vähäistä, jos suljemme pois spektriluokkaa K myöhäisemmät tähdet joissa energia siirtyy tähden keskustasta pinnalle melkein yksinomaan massavirtausten avulla. Tutkimalla eri aikoina syntyneiden tähtien pintakerroksien kemiallista koostumusta voimme saada selville kuinka tähtienvälisen kaasun kemiallinen koostumus muuttuu, ja mitkä ydinreaktiot ovat sattuneet eri sukupolvien tähtien sisuksissa.

2) Tähtien sisällä sattuvien ydinreaktioiden tuotteet joutuvat tähtien pinnalle vasta hyvin myöhäisissä kehitysvaiheissa. Tällaisten tähtien pintakerroksien kemiallinen koostumus antaa mahdollisuuden testata teorioita tällaisista ydinreaktioista.

3) On joukko tähtiä kuten magneettiset tähdet, Ap-tähdet, metalliiviiva-Am-tähdet ja λ Boo tähdet joissa on hyvin epänormaalit kemialliset runsaudet, vaikka ei olekaan selvää että ne olisivat vanhoja kehittyneitä tähtiä. Mikä on syy tähän?

Kehittymättömien tähtien kemiallinen koostumus

Sellaisten tähtien tutkiminen, jotka ovat muodostuneet kauan sitten ja jotka kuitenkin eivät vielä ole paljoa kehittyneet pois pääsarjasta, ja toisaalta vasta muodostuneiden tähtien tutkiminen, ovat viitanneet siihen että galaksimme aine oli muodostumisensa alussa pelkästään vedyn tai vedyn ja heliumin sekoitusta. Useiden nopeasti kehittyneiden raskaiden tähtien räjähtämiset ovat rikastuttaneet interstellaarista ainetta tällaisten tähtien sisällä syntetisoiduilla raskailta alkuaineilla. Useita G-spektriluokan pääsarjan tähtiä jotka kuuluvat joukkoihin joiden iät vaihtelevat 10^6 :sta 2×10^{10} vuoteen on analysoitu ja näiden metallipitoisuudet (lähinnä Ca, Ti, Fe, Cr, Sr jne.) on esitetty kuvassa 5. Pystyakselilla on metallipitoisuus logaritmisessa skaalassa. (0 tarkoittaa samaa kuin auringossa, -1.0 tarkoittaa 10 kertaa pienempää ja -2.0 sata kertaa pienempää kuin auringossa). Vaaka-akselilla on joukon ja siis myös tutkitun tähden ikä ilmaistuna miljardeissa vuosissa. Voidaan selvästi nähdä että rikastuminen on hyvin nopeaa galaksin ensimmäisinä 5 miljardina vuotena jonka jälkeen se tulee hitaammaksi. Kuitenkin kuviossa on huomattavasti hajontaa esimerkiksi M2:n ja M3:n kohdalla. Onkin merkkejä siitä että rikastuminen on ollut nopeampaa galaksimme tasossa kuin muualla. Kuvassa 5 likimain auringon ikäiset joukot ovat populaatio I:n tähtiä. Tähän populaatioon sanotaan kuuluvaksi sellaisten tähtien jotka sijaitsevat spiraalihaaroissa ja



kiertävät Linnunradan keskuksen ympäri ympyrämäisiä ratoja pitkin Linnunradan tasossa. Tällaisille tähdille on suoritettu paljon aikaisemmin mainittuja periaatteita noudattaen kemiallisten runsauksien määrittämiä, joista eräs yhteenvedo on esitetty kuvassa 6. Vaaka-akseli ilmoittaa alkuaineen ja pystyakselilla on k.o. alkuaineen atomien lukumäärä (yksikkötilavuutta kohden) logaritmisella asteikolla siten että vedylle $\log N = 12$. Täten esimerkiksi jos $\log N$ jollekin alkuaineelle on 6, tarkoittaa tämä sitä että aineen atomeja on miljoona kertaa vähemmän kuin vetyatomeja ($10^6 - 12 = 10^{-6}$). Piirretty käyrä ilmoittaa auringon koostumuksen. Määritykset eri spektriluokille poikkeavat hieman toisistaan ja auringosta. (kts. kuvatekstiä)

Spektrivälillä O9–A2 on analysoitu 9 tähteä (pisteet kuvassa 6). Näissä tähdissä on magnesiumia noin 3–10 kertaa enemmän kuin auringossa. Koska tämän spektriluokan tähdillä massat ovat välillä 7–20 auringon massaa ovat ne näin ollen aurinkoa paljon nuorempia ja on mahdollista että tämä magnesiumin runsaus on todellista ja seurausta tähtienvälisen aineen rikastumisesta sen jälkeen kun aurinko oli jo muodostunut. Kuitenkin runsausmäärityksissä virheet saattavat olla vielä suuria ja voimme sanoa että I populaation tähtien kemialliset koostumukset ovat hyvin samanlaisia kuin auringossa.

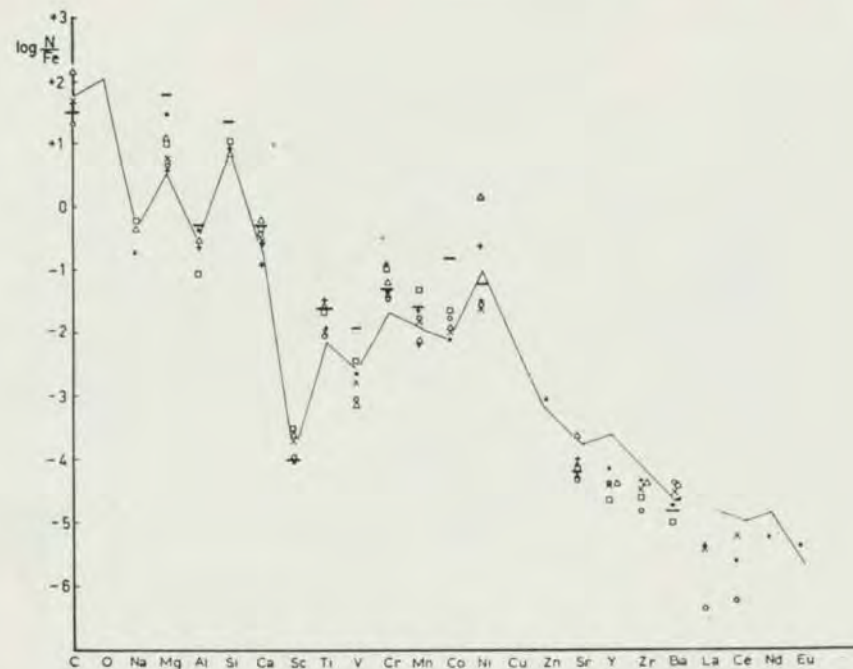
Kuvaan 5 merkityt joukot M2, 3, 5 ja 13 ovat vanhoja pallomaisia tähtijoukkoja, jotka kuuluvat ns. populaatio II:een. Tämän populaation tähdet



Kuva 6: Alkuaineiden runsaudet populaatio I:n tähtien pinnalla. Vedyllle $\log N$ on pantu = 12. Piirretty viiva (sekä paksut vaakaviivat) ilmoittaa auringon kemialliset runsaudet. Kuvan symboleilla on seuraavat merkitykset: pisteet – O, B, ympyrät – A, ristit – F, kolmiot – G, ohuet vaakaviivat – K spektriluokkien tähdet.

kiertävät Linnunradan keskusta hyvin soikeita ratoja pitkin ratojen suuntautuessa mielivaltaisesti Linnunradan tasoon nähden. Tähän populaatioon kuuluvat myös ns. ”hyvin nopeat tähdet”. Tämä termi viittaa tähden liikkeeseen auringon suhteen. Nämä ”nopeat tähdet” siis kiertävät galaksimme keskuksen ympäri mielivaltaisesti suuntautuneita soikeita ratoja pitkin. Normaali populaatio I:n tähdet kiertävät paljon suuremmalla nopeudella tätä keskusta. Näin ollen nämä ”nopeat tähdet” näyttävät jäävän jälkeen populaatio I:n tähdistä galaktisilla radoillaan. On uskottavaa olettaa että nämä ”nopeat tähdet” muodostuivat kun protogalaksimme oli melkein pallomainen kaasumuodostelma ja että näiden tähtien radat yleensä ovat säilyttäneet tämän muodon. Suuri nopeus auringon suhteen on riittävä mutta ei välttämätön ehto jotta jonkun tähden voisi lukea populaatio II:een johtuen erilaisten ratojen moninaisuudesta.

Voimakkaasti metalli-köyhien tähtien kemiallinen koostumus on ajateltu



Kuva 7: Eräiden metalliköyhien ja ns. ”nopeiden tähtien” kemialliset runsaudet rautaan verrattuna (kts. teksti). Viiva ilmoittaa tilanteen auringossa. Symbolit edustavat seuraavia tähtiä ja tähden perässä oleva luku ilmoittaa kuinka mones osa tähden rautapitoisuus on auringon rautapitoisuudesta: piste – HD 165195 (1/650), ympyrä – γ Pav (1/7), risti – ζ Ret (1/3), plus-merkki – Wilson 10367 (1/80), kolmio – HD 161817 (1/25), vaakaviiva – HD 19445 (1/70), neliö – HD 140283 (1/170).

(Kuvat 3–7 kirjasta Margherita Hack, *Stellar Spectroscopy*).

edustavan interstellaarisen aineen kemiallista koostumusta kun vähän tai ei yhtään rikastumista pitkälle kehittyneistä tähdistä oli vielä tapahtunut. Noin parinkymmenen tällaisen tähden spektrit on toistaiseksi yksityiskohtaisesti tutkittu suuridispersioisten spektrogrammien avulla. Eräät näistä ovat halossa sijaitsevia tähtiä, toiset ”nopeita tähtiä”. Kuvassa 7 on esitetty eräiden populaatio II:n ”nopeitten tähtien” kemialliset runsaudet. Pystyakselilla on nyt (toisin kuin kuvassa 6) k.o. alkuaineen ja raudan runsauksien suhteet logaritmisessa skaalassa. Näin ollen esim. +1 tarkoittaa että k.o. aineen atomeja on $10^1 = 10$ kertaa enemmän kuin rauta-atomeja ja esim. –3 tarkoittaa että

atomeja on 10^{-3} eli tuhannes osa rauta-atomien määrästä. Kuvaan piirretty viiva ilmaisee kuinka tilanne on auringossa. Tähtien nimet ja niitä esittävät symbolit ovat kuvatekstissä, samoin raudan runsaus verrattuna auringoon. Kaikissa niissä on esim. rautapitoisuus pienempi kuin auringossa tekijällä 10–1000. Jos taas tutkimme jonkun alkuaineen määrää suhteessa saman tähden raudan määrään, saadaan yleensä samanlaisia suhteita kuin auringossa, mikä viittaa siihen että kaikkien aineiden rikastuminen on tapahtunut samassa suhteessa riippumatta siitä että eri ydinreaktiot ovat ne synnyttäneet tähtien eri kehitysvaiheissa. Kuitenkin raskaat aineet strontium (Sr), yttrium (Y), zirkonium (Zr) ja harvinaiset maametallit (La, Ce, Nd ja Eu) näyttävät olevan systemaattisesti vähäisempiä raudan suhteen kuin mitä auringossa.

Edelleen nähdään että populaatio II:n tähdissä alkuaineita magnesiumista (Mg) kupariin (Cu) verrattuna kuparia raskaampiin alkuaineisiin on suhteellisesti enemmän kuin auringossa ja samoin myös muissa populaatio I:n tähdissä. Tämä viittaa siihen että raskaiden tähtien sisuksissa tapahtuneen nukleosynteesin tuloksena tähtienvälisen aineen rikastuminen on nopeampaa raskaita aineita (atomipaino yli 50) tuottavan ns. s-prosessin (hidas neutroni sieppaus) avulla kuin kevyempiä alkuaineita tuottavien α -prosessin (helium atomin ytimien eli α -hiukkasten sieppaus) ja e-prosessin (raudan tienoilla olevia aineita tuottava prosessi) avulla.

Olisi erittäin tärkeää saada selville heliumin määrä hyvin vanhoissa populaatio II:n tähdissä. Tämä saattaisi kertoa meille oliko protogalaksimme pelkkää vetyä tai oliko siinä myös heliumia. Tällä olisi suurta kosmologista merkitystä. Valitettavasti kaikki tähdet jotka ovat vanhoja, eivätkä erikoisemmin kehittyneitä, ovat liian kylmiä jotta heliumin viivoja voisi niissä lainkaan esiintyä.

Magneettiset pekuliaariset tähdet

Jo 1930-luvulta lähtien on ollut tiedossa että spektrivälillä B5–F5 on joukko tähtiä joilla on hyvin epätavalliset spektrit. Nämä tähdet muistuttavat jatkuvan spektrinsä sekä vedyn viivojen puolesta normaaleja populaatio I:n tähtiä ja HR-diagrammissa ne näyttävät sijaitsevat pääsarjassa. Ne muodostavat n. 15 % kaikista saman värisistä normaaleista tähdistä ja niiden spektripekuliaarisuudet näyttävät riippuvan väristä. Näiden tähtien joukosta voidaan heti erottaa kaksi pääryhmää. Ensimmäisen ryhmän muodostavat pekuliaariset A-tähdet (Ap) jotka sijaitsevat keskimäärin spektrivälillä B8–F0. Niissä on yleensä erittäin voimakkaita piin (Si), magnaaniin (Mn), kromin (Cr), strontiumin (Sr) ja harvinaisten maametallien viivoja vaikka näiden spektriluokan alueilla ei niitä odottaisikaan. Edelleen kalsiumin K-viiva on usein, joskaan ei aina, heikompi kuin saman värisissä normaaleissa tähdissä.

Nämä spektrierikoisuudet melko varmasti jollakin tavalla ovat yhteydessä näissä tähdissä havaittuihin voimakkaisiin (useita tuhansia gausseja) magneettikenttiin. Joko siten että magneettikenttien läsnäolo vahvistaa viivoja, tai jos suuret kemialliset runsaudet ovat todellisia on voimakkailla magneettikentillä saattanut olla vaikutusta tällaisten runsauksien muodostumisessa. Lisäksi magneettikentät, tähtien kirkkaudet, spektriviivojen voimakkuudet ja radiaalinopeudet muuttuvat monissa tapauksissa jaksollisesti. Ap-tähdet voidaan vielä jakaa alaryhmiin riippuen siitä minkä alkuaineen viivat ovat erikoisen voimakkaita (Mn, Si, Sr ja Cr-Eu-Sr tähdet). Näistä keskimäärin Mn-tähdet ovat kuumimpia ja Cr-Eu-Sr ryhmään kuuluvat kylmimpiä Ap-tähtiä.

Toinen pekuliaaristen tähtien joukko sisältää myöhempiä tähtiä välillä A4–F5. Näille metalliviiva-tähdille (Am) tunnusomaista on kerran ionisoituneiden scandiumin ja kalsiumin (ScII, CaII) viivojen heikkeneminen ja strontiumin (SrII) viivojen voimakkuus kun niitä verrataan normaaleihin tähtiin. Mikäli Ap ja Am-tähdille suoritetaan samanlainen kemiallisten runsauksien analyysi kuin normaaleillekin tähdille saadaan taulukossa I ilmoitetut alkuaineiden keskimääräiset runsaudet näille tähdille. Taulukkoon on myös merkitty eräitä tyypillisiä tähtiä k.o. ryhmistä. Kuten taulukosta ilmenee niin erikoisesti harvinaisia maametalleja (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy) on erikoisen runsaasti varsinkin Si ja Cr-Eu-Sr -tähdissä joissa niiden runsaus keskimäärin on 1000 kertainen auringoon verrattuna. Kuumemmissa Si ja Mn tähdissä neutraalin heliumin (HeI) viivat ovat epätavallisen heikkoja mikä, kuten taulukosta ilmenee, merkitsee heliumille 10 kertaa pienempää runsautta kuin auringossa.

On kuitenkin mahdollista että näiden pekuliaaristen tähtien kemialliset runsaussuhteet ovat sittenkin samat kuin normaaleissakin populaatio I:n tähdissä, mutta jostain syystä joidenkin aineiden viivat ovat erikoisen vahvoja ja joidenkin poikkeuksellisen heikkoja. Esimerkiksi pekuliaaristen tähtien pintakerrokset, missä useimmat absorptioviivat syntyvät, saattavat sinä määrin poiketa normaalien tähtien vastaavista kerroksista, että siellä tavalliset spektriviivojen syntymisen teorit eivät enää pädekään.

Jos kuitenkin, kuten yleisesti tehdään, lähdemme siitä että taulukon I kemialliset runsaudet ovat todellisia, herää kysymys mikä ne on aiheuttanut. Jättiläisvaiheesta takaisin pääsarjaan palanneita ainakaan kaikki Ap-tähdet tuskin ovat, koska niitä on löytynyt paljon joukoista joiden iät vaihtelevat miljoonasta miljardiin vuoteen. A-spektriluokan tähdelle vajaan miljardi vuotta tarvittaisiin tällaiseen kehitykseen. Lisäksi tietojemme perusteella tähden eri kehitysvaiheiden kestoajasta Ap tähtiä on liikaa (n. 15 % normaaleista saman sp. luokan tähdistä) jotta ne voisivat olla pääsarjan jälkeisessä kehitysvaiheessa. Sitä paitsi tähdet jotka todella ovat palaamassa takaisin jättiläisvaiheesta ovat ilmeisesti vetyköyhiä tähtiä kuten ν Sagittarii ja HD 30353 joilla on hyvin

TAULUKKO 1

Ap ja Am tähtien keskimääräiset kemialliset runsaudet.

Tähden luokka alkuaine	Mn	Si	Sr	Cr–Eu–Sr	Am
He	–	–			
C	0	0–		—	0
O	0	–			– ?
Mg	0–	0–	–	0+	0
Si	0–	+	0	0	0
Ca	0–	–	0	0	–
Sc				–0+	–
Ti	+	0+	0	0	0
Cr	+	+	0	+	0+
Mn	++	+	0	+	0+
Fe	–0+	+	0+	0+	0+
Sr	+	+	++	++	+
Y	+	+	+	+	+
Zr	+	+	0+	+	0+
Ba	+		0	0+	+

Harvinaiset maametallit

(La, Ce, Pr, Nd,
Sm, Eu, Gd, Dy)

++ +++ + +++ +

Tyypillisiä tähtiä

53 Tau α^2 CVn χ Lup 10 Aql τ UMa
ι Cr B 3 CenA τ Cap γ Equ 15 Vul

- tarkoittaa alipitoisuutta tekijällä 10 (10 kertaa pienempi kuin auringossa)
- + tarkoittaa ylipitoisuutta tekijällä 10 (++ sadalla, +++ tuhannella jne.)
- 0 tarkoittaa normaalia alkuaineen runsautta
- 0– melkein normaali mutta suuntaus pieneen alipitoisuuteen
- 0+ kaikki tapaukset esiintyvät

erilainen spektri kuin Ap-tähdillä.

On esitetty että Ap-tähdellä alunperin olisi ollut seuralaisenaan sitä paljon raskaampi kaksoistähti-komponentti, joka olisi ensin lähtenyt kehittymään jättiläiseksi ja esim. ylitettyään kriittisen Rochen rajansa olisi luovuttanut lämpöydinreaktioissa rikastunutta massaansa kevyemmän pinnalle. Tämä kevyempi havaittaisiin pekuliaarisen kemiallisen koostumuksen omaavana Ap-tähtenä kun taas alunperin raskaampi olisi saattanut muuttua vaikeasti havaittavaksi valkoiseksi kääpiöksi.

Edelleen on esitetty että Ap-tähdissä havaitut voimakkaat magneettikentät olisivat kiihdyttäneet varattuja hiukkasia suuriin nopeuksiin joiden törmätessä muihin ytimiin seurauksena olisi tiettyjä alkuaineita tuottavia ydinreaktioita tähden pinnalla. Monia muitakin oletuksia on näiden lisäksi vielä esitetty. Kuitenkaan näillä tavoin ei ole voitu vielä selittää kuin vain joitakin yksittäisiä kompositio-erikoisuuksia.

Muut tähdet

Olemme käsitelleet vain suhteellisen ”normaaleja” tähtiä emmekä lainkaan sellaisia erikoislaatuisia objekteja kuin ovat esimerkiksi novat, emissio Be-tähdet, Wolf-Rayet tähdet, jne. Tällaisten mielenkiintoisten tähtien spektrien ymmärtäminen on usein hankalaa. Tämä johtuu siitä että tämänkaltaisten tähtien pintakerrokset, joista useimmat viivat syntyvät, ovat usein hyvin epäsäännöllisiä ja laajoja ja niissä kaasun tiheydet ovat hyvin alhaiset. Lisäksi pintakerrokset monissa tapauksissa ovat vielä liiketilassa. Spektriviivojen syntymiseen vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä tällaisissa olosuhteissa ei vielä täydellisesti hallita. On kuitenkin lopuksi syytä mainita neuvostoliittolaisen V. Sobolevin työt, jotka ovat huomattavasti edistäneet tällaisista olosuhteista syntyvien spektrien ymmärtämistä.

TÄHTIEN KEHITYS

Osmi Vilhu

1. Johdanto ja eräitä fysikaalisia periaatteita

Nykyiset käsitykset tähtien sisäisestä rakenteesta ja kehityksestä ovat seurausta niistä lukuisista havainnoista joita tähdistä ja niiden muodostamista järjestelmistä on pitkien aikojen kuluessa tehty. Tällaisia havaintoja ovat mm. erilaisten ja eri osissa Linnunrataa sijaitsevien tähtien lukumäärien, liikkeiden ja niiden lähettämän säteilyn tutkiminen. Tärkeän osan muodostavat myös havainnot omasta auringostamme ja aurinkokunnastamme, mm. tiedot auringon massasta, säteestä, kirkkaudesta ja iästä. Koska ainoastaan tähtien pintakerroksista lähtenyt säteily pystytään vastaanottamaan ja analysoimaan (tulevaisuudessa mahdollisesti myös tähtien sisuksissa syntyneitä neutriinoita), on luonnollisesti oltava riittävästi teoreettisia tietoja erilaisista fysikaalisista olosuhteista ja prosesseista mikäli tähtien sisäisestä rakenteesta halutaan jotain sanoa.

Minkäläisten olosuhteiden kunkin tähden sisässä katsomme vallitsevan, riippuu tietenkin siitä mitkä olosuhteet fysiikan lakien mukaan parhaiten antavat tähden havaitut ominaisuudet (kuten massa, säde, säteily eri aallonpituuksilla, väri, spektriluokka jne.). Kysymyksessä on siis eräänlainen ekstrapolointi tähtien sisäosiin fysiikan lakien ja havaintojen avulla. Tällöin tiedot seuraavanlaisista fysiikan aloista ovat tärkeitä:

- 1) Tiedot hydrodynamikasta eli massan liikkeistä erilaisten voimien vaikutuksen alaisena. Tähden rauhallisissa kehitysvaiheissa (kuten aurinko) tämä tarkoittaa sitä että ulospäin suuntautuva voima (kaasun paine) on yhtä suuri kuin sisäänpäin suuntautuva gravitaatiovoima. Tähden nopeissa kehitysvaiheissa on myös liike otettava huomioon.
- 2) On tunnettava aineen rakennetta ja ominaisuuksia hyvin erilaisissa lämpötiloissa ja tiheyksissä (vrt. esim. jättiläisten hyvin harvat pintakerrokset ja toisaalta neutronitähtien suuret tiheydet). Tällöin myös tarvitaan tietoja hyvin useilta fysiikan aloilta.
- 3) On tunnettava erilaisia energialähteitä. Tällaisia ovat monenlaiset lämpöydinreaktiot (esim. auringon keskustassa vety muuttuu heliumiksi) tai gravitaatioenergian vapautuminen tähden luhistuessa (esim. tähden luhistuessa neutronitähdeksi).
- 4) Edelleen on tiedettävä kuinka tämä vapautunut energia kulkeutuu aineessa. Joissakin tapauksissa energia kulkeutuu sähkömagneettisen säteilyn

(fotonien) avulla, jolloin on tiedettävä kuinka fotonit absorboituvat ja emittoituvat aineen atomeista. Joskus taas energia siirtyy massavirtausten eli konvektion avulla. Esimerkiksi auringon keskustassa vapautunut energia siirtyy aluksi säteilemällä pintaa kohti, mutta pintakerroksissa energian eteneminen muuttuu konvektioksi mistä mm. auringon granulointi on näkyvänä merkinä.

Kaikki edellä esitetyt fysikaaliset asiat voidaan pukea hyvin tarkkaan matemaattiseen muotoon. Saadut yhtälöt, taulukot jne. käsitellään sitten yleensä tietokoneilla tehtävän mutkikkuuden vuoksi.

Näistä yhtälöistä seuraa myös seuraava erittäin tärkeä tulos. Merkitään että

M = tähden massa

ja että tähden aineessa on

X osaa vetyä, Y osaa heliumia ja Z osaa muita alkuaineita ($X+Y+Z=1$).

Jos lisäksi oletamme että tähti on homogeeninen (eri alkuaineet tasaisesti sekoittuneet tähden sisässä) jossakin kehityksensä alkuvaiheissa (esim. tähtienvälinen kaasupilvi), niin (M, X, Y, Z) määräävät tähden kehityksen ja tähden rakenteen kaikkina myöhempinä ajanjaksoina yksikäsitteisesti. Tällöin on tosin oletettu että tähti ei pyöri nopeasti akselinsa ympäri eikä ole kaksoistähti, joissa tapauksissa tähden kehitys saattaa olla täysin toisenlainen kuin yksittäisen ja hitaasti pyörivän tähden. Näihin kysymyksiin ei kuitenkaan tässä yhteydessä puututa.

Jos siis halutaan lähteä seuraamaan esim. jonkun tähtienvälisen kaasupilven kehitystä, on tunnettava sen massa ja kemiallinen koostumus. Tähden kehittyessä aineen kemiallinen koostumus muuttuu tähden sisäosissa ydinreaktioiden vaikutuksesta. Yleensä ajatellaan että ainakin useimpien tähtien pintakerroksien kemiallinen koostumus heijastelee sen aineen kemiallista rakennetta mistä tähti on muodostunut. Esimerkiksi auringolle, normaaleille I populaation tähdille ja Linnunradan spiraalihaarojen kaasupilville spektroskooppiset havainnot antavat suurinpiirtein: $X=0.7$, $Y=0.27$ ja $Z=0.03$. Linnunradan II populaation tähdille (kuten pallomaisten joukkojen tähdet) raskaita alkuaineita on paljon vähemmän: $Z \approx 0.002$. Tämän eron ajatellaan johtuvan siitä että spiraalihaarojen tähdet ovat muodostuneet aineesta mikä on rikastunut tähdissä tapahtuvien ydinreaktioiden vaikutuksesta Linnunradan kehityksen varhaisemmassa vaiheessa. Halon tähdet taas ovat vanhempia ja muodostuneet aineesta mikä on vähemmän rikastunutta.

2. Pääsarjavihe ja pääsarjan jälkeinen kehitys

Kun halutaan ilmaista tähden yleisiä ominaisuuksia (kuten tähden säteilemää energiamäärää, sädettä tai pintalämpötilaa) käytetään yleisesti ns .

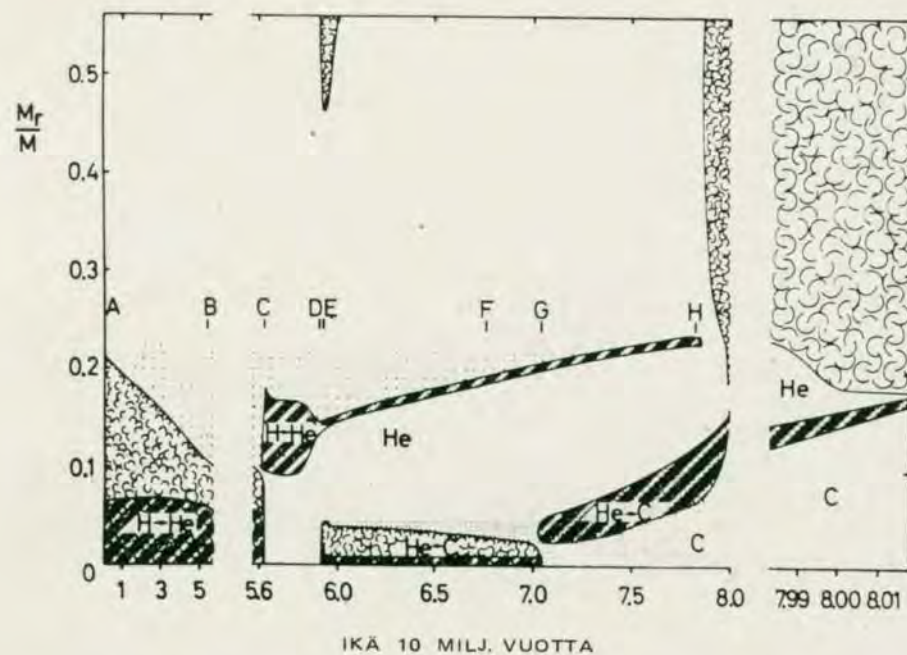
kutistuvat ja ulko-osat laajenevat ja tähti liikkuu oikealle HR-diagrammissa (säde suurenee ja pintalämpötila pienenee). Pisteiden C ja E välillä tähti saa energiansa vedyn palaessa heliumiksi kapeassa kerroksessa keskustan ja pinnan välillä. Tässä kehitysvaiheessa tähden rakenteen ja kehityksen määrää suuressa määrin heliumytimen koko ja sen kasvuvauhti vedyn palamisen kerroksen "syödessä" tietä pintaa kohti.

Pisteessä E tähden keskustan (pääosiltaa heliumin) lämpötila on noussut niin korkeaksi että siellä helium puolestaan alkaa palaa hiileksi. Näillä tienoin tähti on punainen jättiläinen ja sillä on hyvin tiheä heliumydin sekä hyvin harva ja laaja ulompi kerros. Pisteeseen E jälkeen tähti saa energiansa heliumin palaessa hiileksi keskustassa sekä vedyn palaessa heliumiksi kapeassa kerroksessa. Tässä kehitysvaiheessa noin $4 M_{\odot} - 12 M_{\odot}$ massaiset tähdet liikkuvat useaan kertaan HR-diagrammissa sellaisen kapean vyöhykkeen yli missä niiden uloimmat kerrokset tulevat epävakaiksi ja tähti alkaa sykähdellä jaksollisesti. Näillä alueilla sijaitsevat myös havaitut kefeidit (kuvasa 1 kahden katkoviivan sisään jäävä alue), ja kefeidejä pidetäänkin heliumin palamisen kehitysvaiheissa olevina tähtinä. On huomattava että myös ensimmäisessä voimakkaassa laajenemisvaiheessa (pisteestä C pisteeseen E) $5 M_{\odot}$ ja $9 M_{\odot}$ massaiset tähdet kuvassa 1 ylittävät kefeidien alueen, ja onkin mahdollista että jotkut kefeidit ovat tähtiä tässä kehitysvaiheessa. Tällaisten kefeidien lukumäärän on kuitenkin oltava hyvin pieni tämän kehitysvaiheen lyhyden takia.

Kuva 2 esittää mitä $5 M_{\odot}$ massaisen tähden sisässä tapahtuu sen pääsarjan jälkeisen kehityksen kuluessa. Vertaamalla tätä kuvaa kuvan 1 $5 M_{\odot}$ tähden kehityskäyrään, voidaan saada hyvä käsitys tämän massaisen tähden kehityksestä. Huomautettakoon vielä että kaavan (2) avulla voidaan tietyssä HR-diagrammin pisteessä olevan tähden säde heti laskea. Kuvaan 1 voidaan myös kaavan (2) avulla piirtää suoria joilla sijaitsevat tähdet ovat kaikki läpimitaltaan yhtäsuuria.

Helium-palamisen vaiheessa tähden rakenteen ja kehityksen määrää hyvin suuressa määrin se nopeus millä tähden hiili-ydin kasvaa (katso kuvaa 2). Samalla kun hiili-ytimen massa kasvaa sen koko pienenee ja sen lämpötila nousee, tehden mahdolliseksi että lopulta hiili alkaa palaa hapeksi lämpöydinreaktioissa. Tätä kehitysvaihetta ei kuitenkaan ole enää merkitty kuvan 1. Massavälillä noin $3 M_{\odot} - 9 M_{\odot}$ tämä hiilen palaminen tapahtuu räjähdysmäisesti ja seurauksena on todennäköisesti supernova-räjähdyksen tuottaen lopputuloksena tiheän neutronitähden kehityksen päätteeksi.

Kevyempien tähtien kehitys poikkeaa raskaiden tähtien kehityksestä jonkin verran, minkä voi päätellä jo erilaisista kehityskäyristä kuvassa 1. Kuvan 1 alin käyrä esittää auringon massaisen tähden (=auringon) kehitystä. Aurinkokunnan iän arvioiden perusteella voimme päätellä että aurinko on suunnilleen puolessa



Kuva 2 *Energiälähteiden (H → He, He → C) sekä konvektiivisten alueiden (kuvasa sekoitetun näköiset alueet) sijainti 5 auringon massaisen tähden pääsarjan jälkeisen kehityksen eri vaiheissa. Vaaka-akselilla on tähden ikä lausuttuna 10 miljoonissa vuosissa. Pystyakselilla on etäisyys keskipisteestä massa-osissa lausuttuna (esim. $0.1 = 0.5 M_{\odot}$). Pisteet A, B, ..., H liittyvät kuvaan 1. (Cox and Güli: Principles of Stellar Structure II, sivu 990, Gordon & Breach)*

välissä pisteiden A ja B välissä, ja kestää vielä runsaat 5 miljardia vuotta ennenkuin aurinko rupeaa voimakkaasti laajenemaan ja liikkumaan ylöspäin punaisten jättiläisten aluetta kohti HR-diagrammissa. On huomattava että kevyiden tähtien kehityskäyrät lähes yhtyvät tässä kehitysvaiheessa. Auringon saavuttua HR-diagrammissa alueelle, joka kuvaan 1 on merkitty pienellä soikiolla (E'), on sen säde yli 100-kertainen nykyiseen verrattuna, ja näinollen maankin nykyinen rata jää melkein auringon sisälle. Auringon massaisen tähden heliumin palaminen keskustassa alkaa silloin kun tähti on saapunut kuvassa 1 merkittyyn soikiioon (E'). Tässä tapahtuu samanlainen ilmiö kuin $3 M_{\odot} - 9 M_{\odot}$ massaisilla tähdillä hiilen syttymisen yhteydessä, mistä oli edellä puhetta. Teoreettiset laskut nimittäin osoittavat että tällöin aineen fysikaaliset ominaisuudet (erikoisesti ns. degeneroituminen) tähden keskustassa ovat

sellaiset, että helium alkaa muuttua hiileksi rajusti ja tähden keskustassa tapahtuu ns. helium-leimahdus (helium-flash).

Helium-leimahduksessa tähden keskustassa tapahtuva ydinenergian vapautuminen ylittää hetkellisesti jopa 100-kertaisesti normaalin galaksin aikayksikössä säteilemän energiamäärän. Melkein kaikki tästä syntyneestä energiasta absorboituu kuitenkin matkalla tähden pinnalle, eikä mitään havaittavia rajuja ilmiöitä tapahtu. Tämä ei siis johda niin katastrofaalisiin tuloksiin kuin supernovaräjähdyks, vaan tähti pystyy mukautumaan sellaiseksi että helium muuttuu hiileksi keskustassa rauhallisesti. Pallomaisten tähtijoukkojen ns. horisontaalihaaralla (horizontal branch) tähdet ovat juuri tässä heliumin palamisvaiheessa olevia jonkin verran aurinkoa kevyempiä tähtiä. Näistä tähdistä tulee vielä puhetta pallomaisten tähtijoukkojen yhteydessä.

Eräs tärkeä tulos tähtien kehityksen teoreettisista laskuista on, että kehitysaika hyvin voimakkaasti riippuu tähden massasta siten että **mitä raskaampi tähti on sitä nopeammin se kehittyy**. Jos otamme eri massaisia tähtiä ja annamme niiden kehittyä, poistuvat raskaimmat tähdet ensiksi pääsarjasta. Saman ikäiset tähdet sijaitsevat HR-diagrammin vyössä mikä ajan mukana taipuu oikealle HR-diagrammissa (kuva 3).

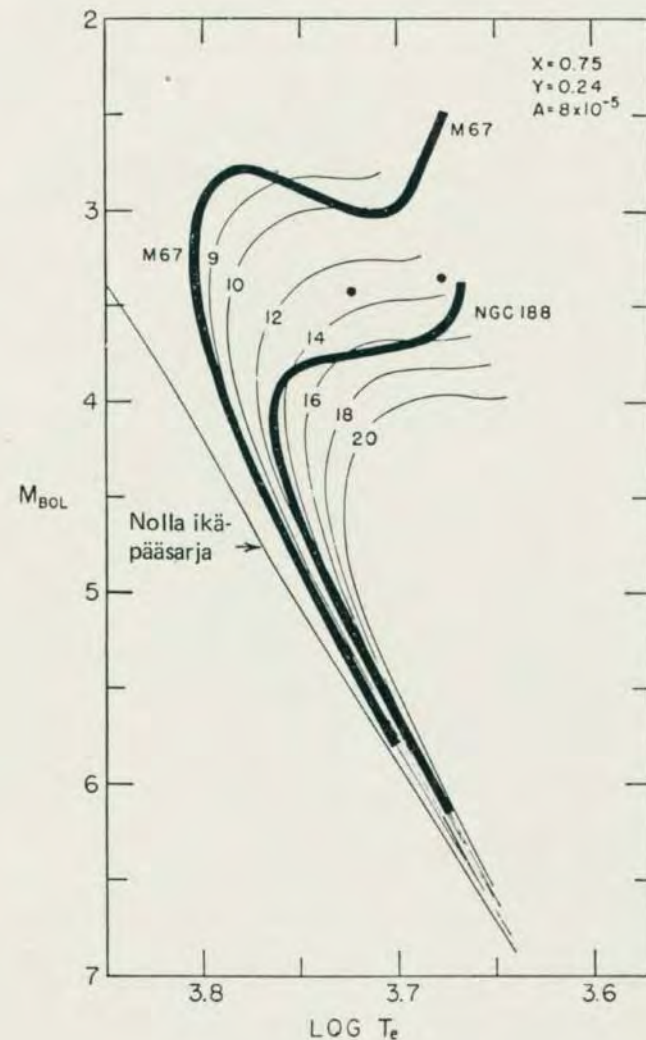
Kuten myöhemmin tähtijoukkoja käsiteltäessä tullaan huomaamaan, nämä ns. isokronit muistuttavat paljon tähtijoukon tähtien jakautumista HR-diagrammissa. Näin tietysti pitääkin olla mikäli käsitykset tähtien kehityksestä ovat oikeita ja mikäli tähtijoukon tähdet ovat suurinpiirtein samanikäisiä keskenään ja saman kemiallisen koostumuksen omaavasta aineesta muodostuneita. On huomattava että kuvaan 3 ei ole merkitty sellaisia raskaita tähtiä jotka isokronin osoittamassa ajassa ovat jo ehtineet käydä läpi edellä esitetyn kehityksen ja ovat päätyneet valkoiseksi kääpiöksi, neutronitähdeksi, mustaksi reiäksi tms.

3. Eräitä havaintoja pääsarjan tähdistä

Tässä yhteydessä on syytä käsitellä hieman sitä missä määrin teoria ja havainnot vastaavat toisiaan. Edellä oli jo puhetta siitä että kefeidien sijainti HR-diagrammissa on voitu hyvin selittää. Tämä on hyvin merkittävää koska kefeidit ovat tärkeitä etäisyys-indikaattoreita Linnunradan, ja sitä tietä myös koko Metagalaksin mittasuhteiden selville saamisessa.

Ensimmäiseksi on luonnollisesti tutkittava havaintoja pääsarjan tähdistä ja verrattava erilaisia pääsarjan tähtien havaittuja ominaisuuksia vastaaviin teoreettisesti laskettuihin. Eräs tällainen on **massa-luminositeetti-relaatio**, mikä ilmoittaa kuinka tähden luminositeetti riippuu massasta.

Luotettavimmat tiedot tähtien massoista saadaan silloin kun tähti on kaksoistähden toinen komponentti. Jos tällöin on käytettävissä riittävästi



Kuva 3. Isokrooneja (sama-ikä käyriä) HR-diagrammissa. Havaitut tähtijoukkojen M67:n ja NGC 188:n diagrammit ovat myös piirretyt (paksut viivat). Numerot käyrien vieressä tarkoittavat ikää lausuttuna miljardeissa vuosissa. Pienet erot käyrien muodossa johtuvat teoreettisten laskujen vanhuudesta (*Stars and Stellar Systems VIII*, sivu 620, University of Chicago Press).

havaintoja siitä kuinka tähdet pyörivät yhteisen painopisteensä ympäri, voidaan massat saada selville. Kuvassa 4 onkin esitetty massa-magnitudi diagrammissa useita kaksoistähtiä. Edelleen kuvaan on merkitty teoreettinen pääsarja käyttämällä I populaation kemiallista koostumusta. Voidaan nähdä että teoria ja havainnot suhteellisen hyvin sopivat yhteen, ja että tähden luminositeetti pääsarjassa on karkeasti verrannollinen massan 4:een potenssiin ($L \propto M^4$).

Vastaavanlaisia diagrammeja voidaan konstruoida muillekin tähtien ominaisuuksille ja verrata havaittuja ja teoreettisia pääsarjan tähtiä toisiinsa. Näiden yhteensopivuus antaa viitteitä siitä että ainakin perusteiltaan käsitykset tähtien rakenteesta ovat oikeita.

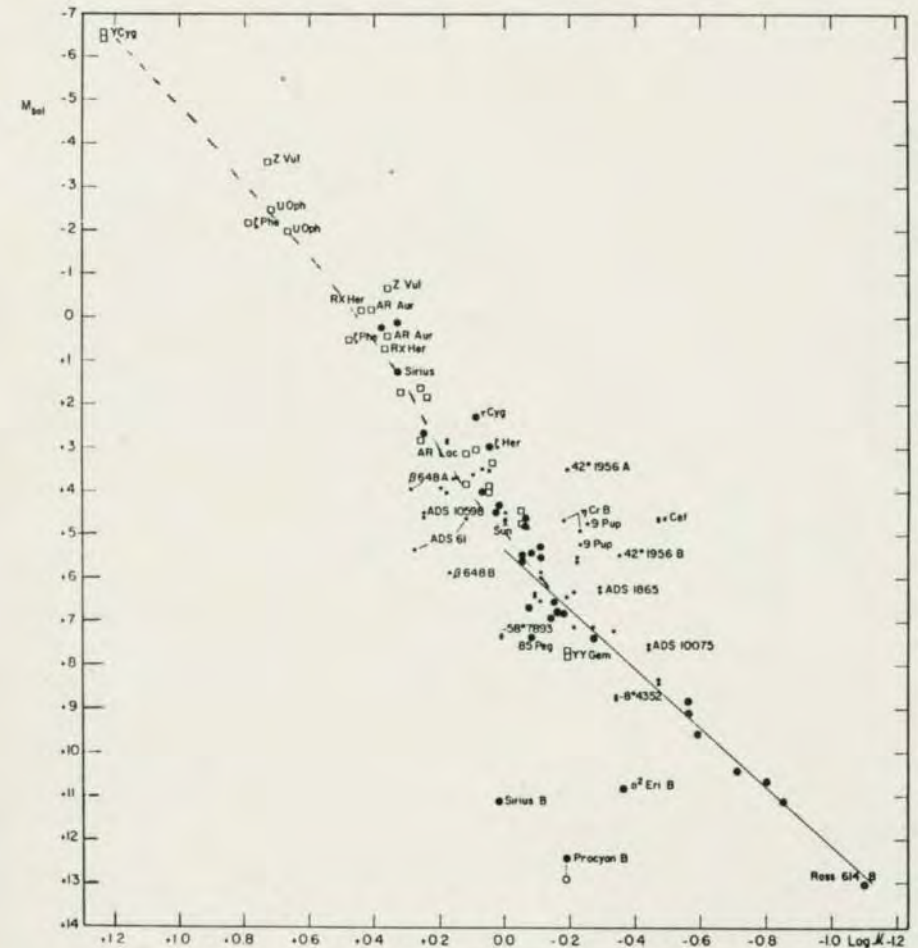
Lisäksi on syytä mainita eräs tärkeä pääsarjan tähti, nimittäin aurinko. Mikäli otamme auringon massaisen tähden ($1M_{\odot}$) jolla on auringon pinnan kemiallinen koostumus (suunnilleen $X=0.7$, $Y=0.27$, $Z=0.03$) ja kehitämme sitä teoreettisesti noin 5 miljardia vuotta (aurinkokunnan arvioitu ikä), niin saamme tulokseksi teoreettisen tähden joka säteilee yhtä paljon kuin nykyinen havaittu aurinko ja jonka säde ja pintalämpötila ovat samat kuin nykyisellä auringolla. Tämä varsin huomionarvoinen tulos osoittaa että ainakin teorian perusteet ovat oikeita. Kevyiden auringon tyyppisten tähtien kohdalla suurinta hankaluutta on aiheuttanut kunnollisen konvektion eli massavirtausten teorian puute.

Aurinko on siis sellainen pääsarjan tähti jossa aivan keskustan lähellä vetymäärä on pudonnut puoleen siitä mitä se alunperin oli. Aurinko on tällä hetkellä hyvin hitaassa kehitysvaiheessa (pisteiden A ja B välillä kuvassa 1) ja vasta noin 5 miljardin vuoden kuluttua vety loppuu auringon keskustassa, ja se alkaa laajeta muuttuen jättiläiseksi.

4. Erilaisia tähtiä ja erilaisia populaatioita

Havaintojen on luonnollisesti oltava perustana tähtien rakenteen ja kehityksen tutkimukselle. Edellä olikin puhetta eräistä tällaisista havainnoista: auringosta sekä massa-luminositeetti-relaatiosta pääsarjan tähdille. Nyt siirrymme hieman tarkastelemaan sitä millaisia tähtiä yleensä on olemassa, mitkä ovat niiden ominaisuudet, missä osissa Linnunrataa ne sijaitsevat jne.

Linnunradan objekteja voidaan sijaintinsa ja liiketilansa mukaan jakaa ns. populaatioihin. Seuraavassa taulukossa (taulukko 1) onkin esitettyä tällaisia populaatioita, sekä on lueteltu tyypillisiä ko. populaation tähtiä ja muita objekteja. Jonkin tietyn tyyppisistä tähdistä voidaan tehdä tilastollisia tutkimuksia siitä kuinka ne keskimäärin sijaitsevat Linnunradan tason suhteen, ja määrätä niiden keskimääräinen hajonta $\langle Z \rangle$ Linnunradan tason ulkopuolelle. Edelleen tutkimalla tähtien säteisnopeuksia ja ominaisliikkeitä voidaan saada selville tähtien keskimääräiset avaruusliikkeet, ja erikoisesti se



Kuva 4. Empiirinen massa-luminositeetti relaatio. Tarkoin havaitut kaksoistähdet ovat merkityt isoilla pisteillä, pienillä pisteillä ovat merkityt sellaiset tähdet joista tehdyt havainnot ovat vähemmän täydellisiä. Pimennysmuuttujat ovat merkityt neliöillä. Teoreettinen pääsarja on merkitty viivalla. Pystyakselilla on bolometrinen absoluuttinen magnitudi, vaaka-akselilla on massan logaritmi (auringon massoissa). (Stars and Stellar Systems III, sivu 285, University of Chicago Press)

TAULUKKO I
Populaatiot

Eräitä tyyppisiä objekteja	Äärimmäinen populaatio I Tähtienvälinen kaasu T Tauri tähdet Spiraalihaarat Superjättiläiset Kefeidit	Vanhempi populaatio I Aurinko A spektriluokan tähdet	Kiekkopopulaatio II Planetaariset sumut Linnunradan ydin Novat RR Lyrae muuttujat (jakso < 0.4 pv)	Väli-populaatio II Ns. nopeat tähdet ($v_z > 30$ km/sec) Pitkäjäksoiset muuttujat (jakso < 250 pv)	Halo-populaatio II Pallomaiset tähtijoukot Alikääpiöt RR Lyrae muuttujat (jakso > 0.4 pv)
Ominaisuuksia $\langle Z \rangle$ parsec	120	160	400	700	2000
$\langle v_z \rangle$ km/sec	8	10	17	25	75
Metallipitoisuus verrattuna vetyyn	0.03	0.02	0.01	0.01	0.001
Populaation kokonaismassa (miljardia aurinkoa)	2	5	47	47	16
Ikä (miljardia vuotta)	< 0.1	0.1–1.5	1.5–5	5–6	6
Kirkkaimmat tähdet (M_{vis})	-8	-8	-3	-3	-3

kuinka tarkasti jonkun tyyppin tähdet liikkuvat Linnunradan tason suunnassa. Taulukossa 1 on myös annettu keskimääräinen suure $\langle V_z \rangle$ mikä ilmaisee sen kuinka suuri keskimääräinen nopeuskomponentti populaatiolla on kohtisuoraan Linnunradan tasoa vastaan. Nähdään heti että mentäessä äärimmäisestä populaatio I:stä (esim. spiraalihaarat) halopopulaatio II:een (esim. pallomaiset tähtijoukot), kasvaa hajonta Linnunradan tason suhteen. Tämä tarkoittaa vain sitä että esim. spiraalihaarat sijaitsevat ja liikkuvat Linnunradan tasossa, kun taas pallomaiset tähtijoukot sijaitsevat hyvin hajallaan Linnunradan tason ulkopuolella ja liikkuvat Linnunradan keskustan ympäri Linnunradan tasoon nähden mielivaltaisesti suuntautuneita ratoja pitkin.

Taulukon ilmoittama metallipitoisuus tarkoittaa heliumia raskaampien alkuaineiden määrää vetyyn verrattuna, ja se on saatu selville esim. analysoimalla tähtien spektrejä. Nähdään selvästi että metallipitoisuus pienenee mentäessä populaatio I:stä populaatio II:een. Tämän voi tulkita siten että populaatio II:n objektit ovat vanhoja ja ovat muodostuneet Linnunradan varhaisissa kehitysvaiheissa. Mikäli näin on, niin siinä aineessa mistä Linnunratamme on muodostunut on täytynyt olla hyvin vähän raskaita alkuaineita. Tässä Linnunradan varhaisessa kehitysvaiheessa on täytynyt muodostua myös raskaita tähtiä jotka ovat kehittyneet nopeasti, ja ydinreaktioiden avulla näiden tähtien sisuksissa on muodostunut myös raskaita alkuaineita. Näiden tähtien kehittyessä esimerkiksi supernoviksi, ovat nämä raskaat alkuaineet sitten rikastuttaneet tähtien välistä kaasua. Tästä aineesta, Linnunradan edelleen kehittyessä, ovat muodostuneet mm. spiraalihaarat joihin on sitten taas vuorostaan alkanut muodostua uusia tähtiä (populaatio I) joiden metallipitoisuus on nyt ollut aikaisempaa suurempi.

Voidaanko sitten katsoa että havaittu metallipitoisuus (tähtien pintakerroksien metallipitoisuus) vastaa sen aineen metallipitoisuutta mistä tähti on muodostunut? Kaikki edellisissä kappaleissa esitetyt teoreettiset laskut antavat kyllä aiheen olettaa näin, mikäli kovin poikkeukselliset tähdet suljetaan pois laskuista. Näiden laskujen perusteella pintakerroksien, sekä niiden kerroksien välillä missä ydinreaktioita sattuu, ei yleensä esiinny sekoittumista (konvektiota). Ainakin mikäli rajoitutaan normaaleihin pääsarjan tähtiin voidaan näin huoletta olettaa. Jos taas sekoittumista tapahtuu (varsinkin tähden myöhäisissä kehitysvaiheissa), antaa pintakerroksien kemiallisen koostumuksen tutkiminen arvokasta tietoa tästä prosessista.

Linnunradan tasossa muodostuu tähtiä jatkuvasti, (assosiaatioissa, tähtien välisissä sumuissa), mutta sen sijaan Linnunradan halossa tähtien muodostuminen on täysin pysähtynyt. Näin ollen havaittavien halo-populaation tähtien täytyy olla pienimassaisia, koska ne ovat niin vanhoja. Raskaammat tähdet ovat jo kehittyneet mustiksi kääpiöiksi, neutronitähdiksi jne. Näin tosiaan onkin, kuten myöhemmin tulemme näkemään esim. pallomaisten

tähtijoukkojen yhteydessä.

Edellä esitetyt erot populaatioiden iässä viittaavat myös vahvasti siihen että Linnunrata on ollut varhaisessa vaiheessaan epäsymmetrinen pyörteinen kaasumöykky, mutta joka on myöhemmin kehittyessään litistynyt ja saanut spiraalimaisen muodon.

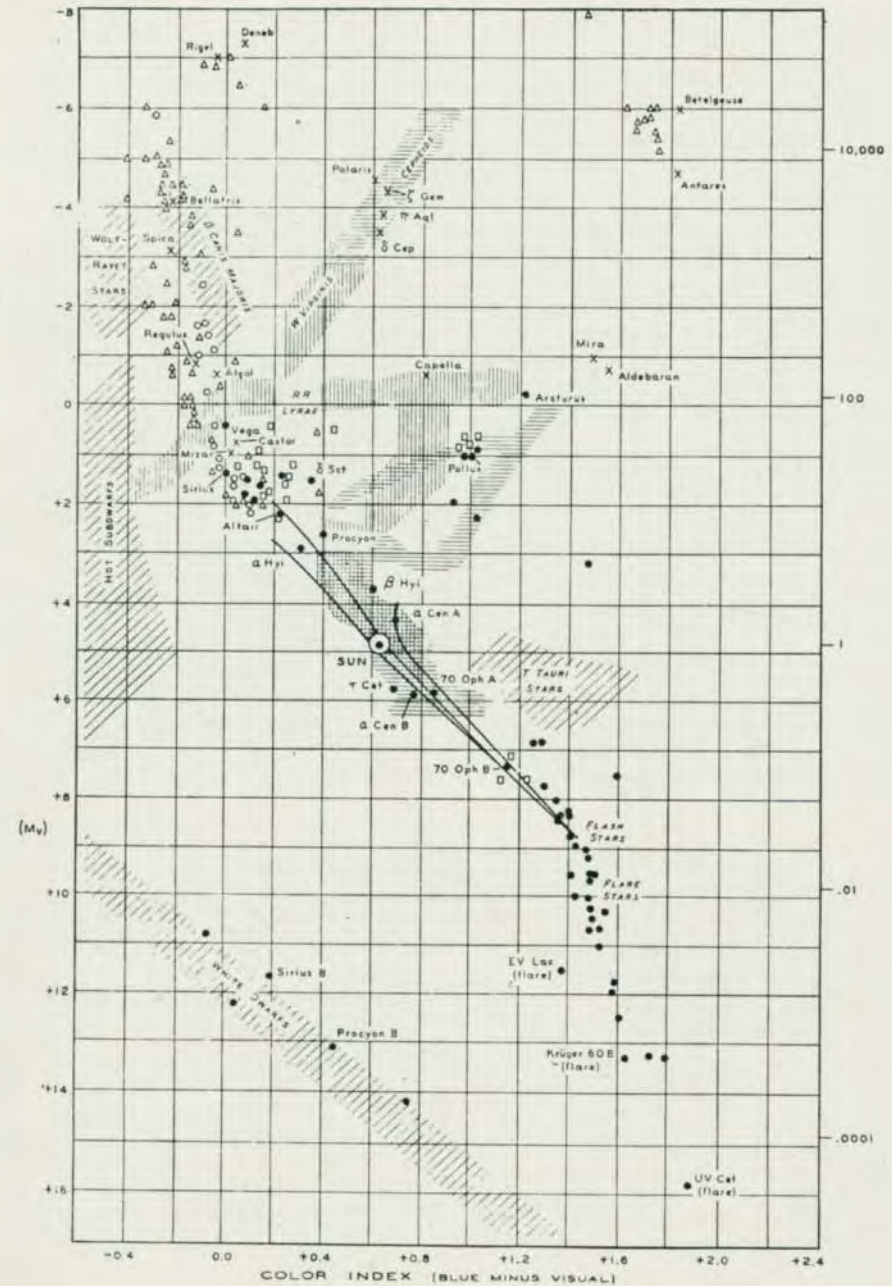
Eri tyyppiset tähdet voidaan myös luonnollisesti asettaa samaan HR-diagrammiin mikäli tähtien värit ja näennäiset magnitudit mitataan, ja jos etäisyydet tunnetaan jotta absoluuttinen magnitudi saataisiin selville. Kuva 5 esittää erään tällaisen HR-diagrammin, johon on merkitty myös eräitä nimeltä mainittuja yksittäisiä tähtiä. Pääsarja erottuu selvänä samoin kuin eräiden tähtityyppien miehittämät alueet jotka on merkitty varjostuksella. Vertaamalla tätä kuvaa myöhemmin esitettäviin pallomaisten tähtijoukkojen HR-diagrammihin, voi heti päätellä mitkä varjostetut alueet ovat pallomaisten tähtijoukkojen tähtien miehittämiä alueita.

Tähtien rakenteen ja kehityksen teorian tehtävänä on selvittää miksi tietyntyyppiset ja tietyt ominaisuudet omaavat tähdet (mm. kefeidit, valkoiset kääpiöt, tähtijoukkojen tähdet) sijaitsevat juuri tietyillä alueilla HR-diagrammissa, ja miksi niiden esiintymisrunsaus on juuri havaitunlainen. Seuraavassa siirrymmekin tarkastelemaan tähtien kehityksen teorialle tärkeitä tähtijoukkoja.

5. Tähtijoukot

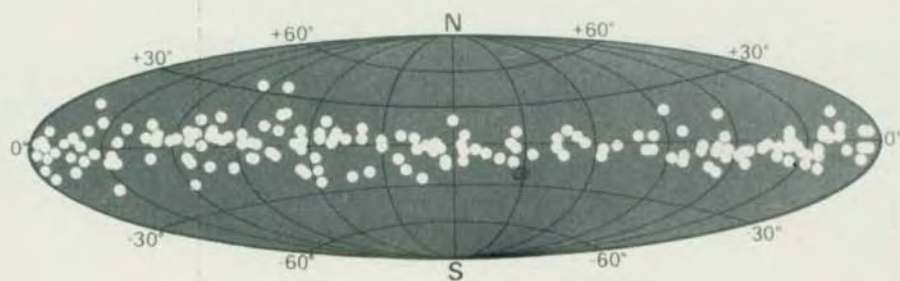
Tähdet esiintyvät usein joukoissa ja tällä asialla on varsin tärkeä merkitys. Voidaan nimittäin melko luontevasti aluksi olettaa että joukon tähdet ovat suurin piirtein samanaikaisesti ja samasta aineesta muodostuneita. Mikäli näin on, niin silloin joukon tähdet poikkeavat toisistaan vain massansa perusteella. Ensimmäisessä luvussahan totesimme että tähtien rakenteen teorian mukaan tähden massa, ikä ja alkuperäinen kemiallinen koostumus määräävät yksikäsitteisesti tähden rakenteen. Nyt voimme menetellä sillä tavalla että laskemme teoreettisesti eri massaisten tähtien kehitystä ja sitten tutkimme kuinka nämä teoreettiset tähdet sijaitsevat esim. HR-diagrammissa yhtä

Kuva 5. HR-diagrammi Hot subdwarfs = kuumat alikäpiöt, white dwarfs = valkoiset kääpiöt, flare stars = flare tähdet. Vasemmalla pystyakselilla on visuaalinen absoluuttinen magnitudi. Oikealla pystyakselilla on luminositeetti aurinkoon verrattuna. Vaaka-akselina on tähden väri (Margherita Hack and Otto Struve: Stellar Spectroscopy (takakansi)).

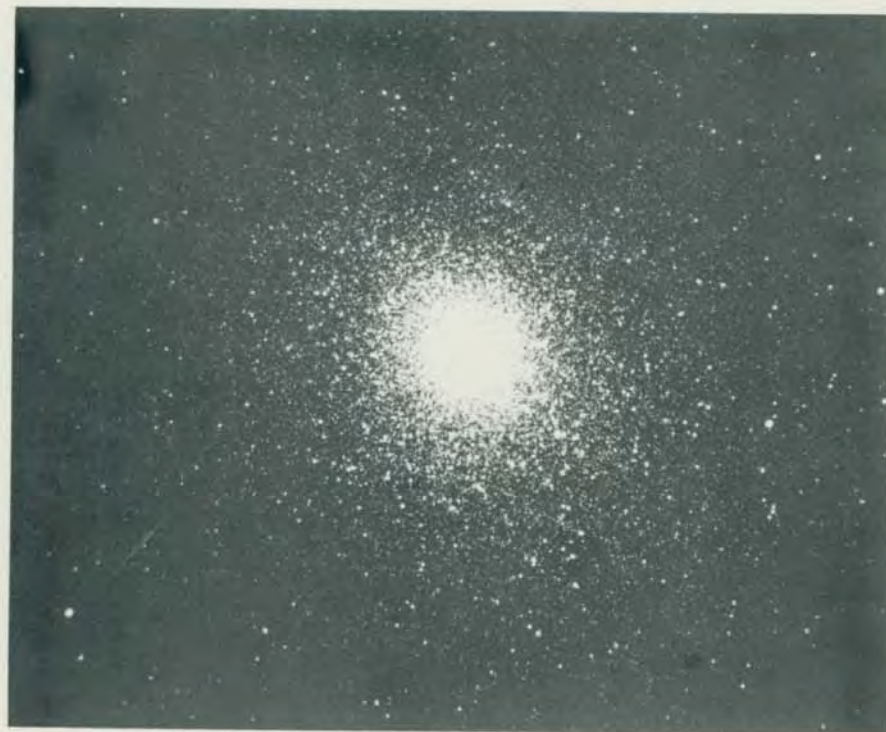




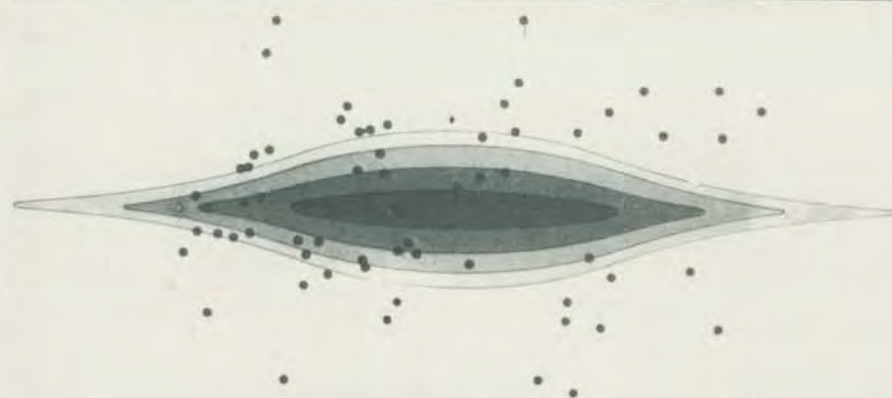
a)



Kuva 6. Kuvat järjestyksessä a) Avoim joukko Plejadit. b) Avoimien galaktisten joukkojen jakautuminen Linnunradassa (galaktiset koordinaatit). Huomaa selvä keskittyminen Linnunradan tasoon (Moore, Atlas of the Universe, sivu 204). c) Pallomainen joukko M 5 ($\alpha = 15^h 16^m$, $\delta = +20^\circ 16'$), Joukon etäisyys on noin 27000 valovuotta ja sen läpimitta noin



c)



b) d)

130 valovuotta. Joukko muodostuu miljoonista yksittäisistä tähdistä. d) Pallomaisten joukkojen jakautuminen kaavamaisesti Linnunradassa. Joukot sijaitsevat pääasiallisesti Linnunradan halossa ja kiertävät hyvin soikion muotoisia ratoja Linnunradan keskuksen ympäri (Moore, Atlas of the Universe, sivu 204).

vanhoina. Tulokseksi saamme että eri massaiset mutta yhtä vanhat (ja saman alkuperäisen kemiallisen koostumuksen omaavat) tähdet sijaitsevat ns. isokrooneilla joista jo oli aikaisemminkin puhetta (katso kuva 3). Näin ollen tähtijoukkojen HR-diagrammien on oltava näiden isokroonien muotoisia. Tätä siirrymmekin seuraavassa tutkimaan.

Linnunradan tasoon keskittyneet populaatio I:n tähtijoukot ovat ns. avoimia joukkoja (open cluster). Kuvassa 6 on esitetty valokuva eräästä tunnetuimmasta tällaisesta joukosta Plejadeista, sekä myös tämän tyyppisten joukkojen jakautuminen linnunradassamme.

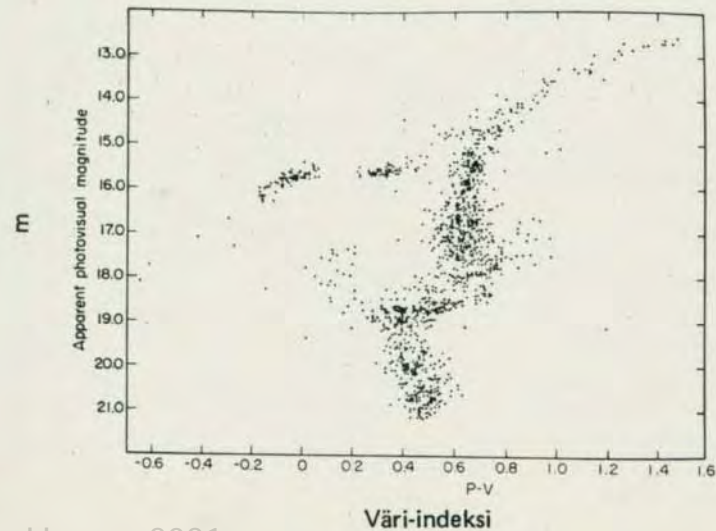
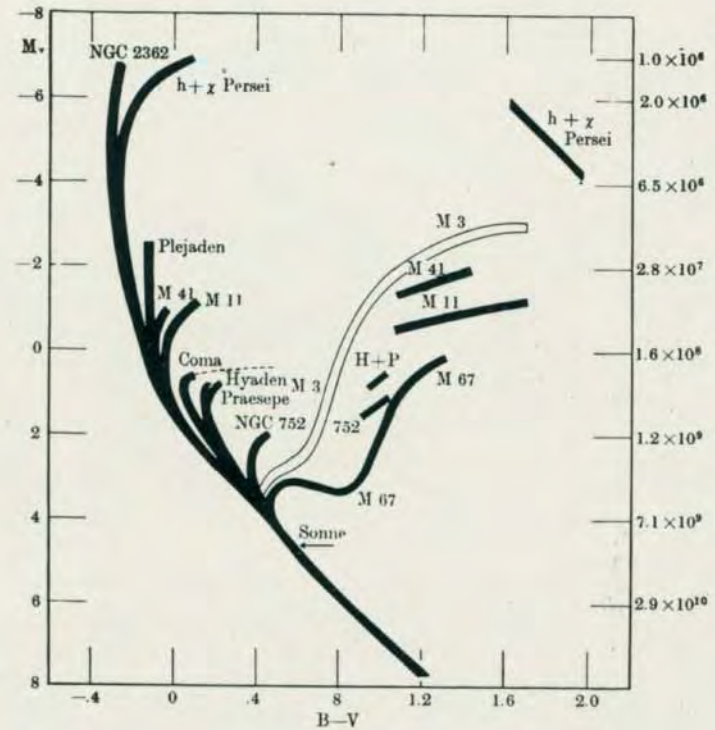
Tyypillisiä populaatio II:n objekteja ovat taas ns. pallomaiset tähtijoukot (globular cluster) jotka sijaitsevat hyvin hajallaan linnunradan tason suhteen (katso Taulukko 1). Nimensä ne ovat saaneet ulkomuotonsa perusteella (katso M 5 kuvassa 6), ja tähtitiheys sekä tähtien lukumäärä ovat pallomaisissa joukoissa huomattavasti suuremmat kuin avoimissa joukoissa.

Kuva 7 esittää useiden tunnettujen tähtijoukkojen HR-diagrammit. Huomataan selvästi että avoimien joukkojen diagrammit (kuten Plejadit, Hyadit, Praesepe jne.) muistuttavat isokrooneja joista edellä oli puhe. Mitä vanhempi joukko on, sitä alhaammalla kaareutumiskohta pois pääsarjasta sijaitsee. M 67 taas on erittäin vanha avoin joukko ja edustaa ikänsä puolesta jonkinlaista välivaihetta avoimien ja kaikkein vanhimpien pallomaisien joukkojen välillä. Pallomaisien joukkojen HR-diagrammit poikkeavat ulkomuodoltaan avoimien joukkojen diagrammeista. M 3 on eräs eniten tutkittuja pallomaisia joukkoja ja sen diagrammi onkin esitetty yksityiskohtaisesti kuvan 7 alaosassa.

Seuraavassa käymmekin tarkastelemaan pallomaisia tähtijoukkoja yksityiskohtaisemmin tähtien rakenteen ja kehityksen teorian kannalta.

Kuva 7. Ylempi kuva. Eräiden avointen galaktisten joukkojen väri-magnitudi diagrammit (HR-diagrammit) kaavamaisesti esitettynä. NGC 2362 on joukoista nuorin, M 67 taas vanhin. Pallomainen joukko M 3 on otettu mukaan vertailun vuoksi. Kaareutumiskohtaa pois pääsarjasta vastaava luku oikealla pystyakselilla ilmoittaa joukon iän vuosissa.

Alempi kuva: Pallomaisen joukon M 3 väri-magnitudi diagrammi yksityiskohtaisemmin. Yksi piste edustaa joukon yksittäistä tähteä. Vertaa tätä kuvaa seuraavaan kuvaan. M 3:n etäisyys on noin 48000 valovuotta, $\alpha = 13^h 39^m 9$, $\delta = +28^{\circ} 28'$.



6. Pallomaiset joukot

6a. Pallomaisen joukon tähdet

Edellä olikin puhetta pallomaisten tähtijoukkojen muodosta sekä niiden sijainnista ja liikkeistä avaruudessa. Katsomme nyt lähemmin millaisia tähtiä tyypillisessä pallomaisessa joukossa on.

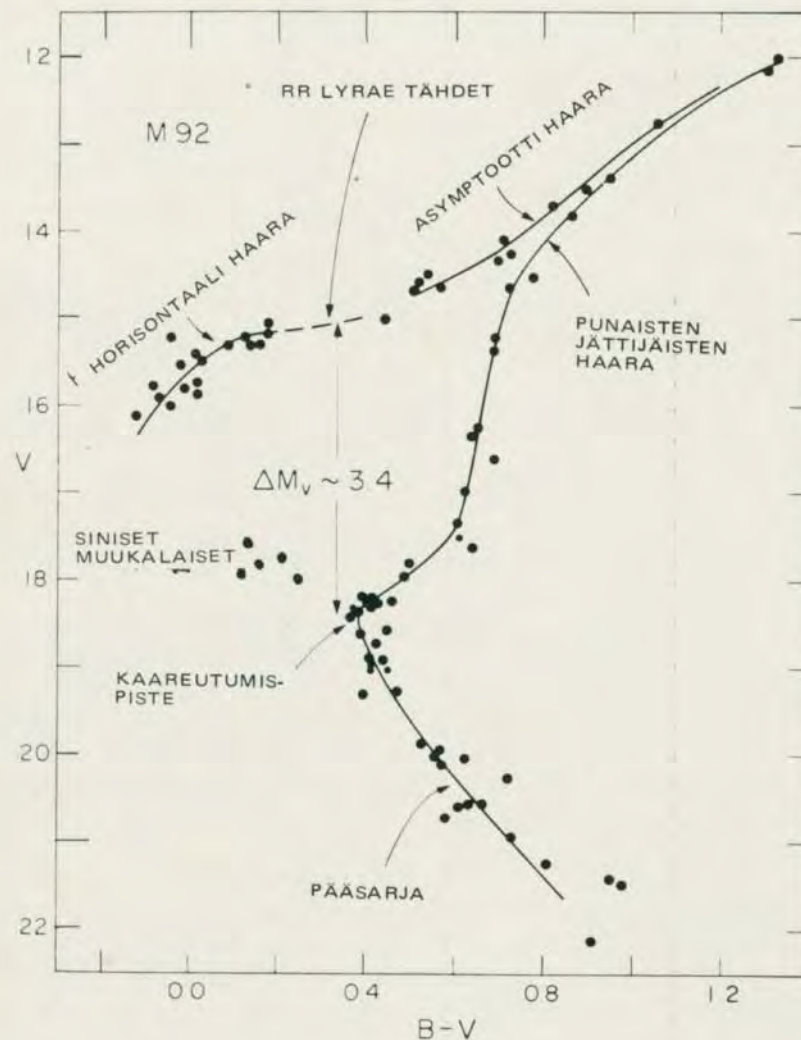
Mikäli sijoitamme edustavan valikoiman jonkun tyypillisen pallomaisen joukon tähtiä HR-diagrammiin, saamme kuvan 8 kaltaisen kuvion missä siis yksi piste esittää yhtä tähteä. Heikkovaloisimmat tähdet ovat pääsarjan (Main sequence) tähtiä, ja kaareutumispiste (turn off point) sijaitsee varsin myöhäisen spektriluokan kohdalla mistä heti seuraa että pallomaiset joukot ovat hyvin vanhoja. Tähtijoukoissa esiintyy usein tähtiä jotka eivät noudatakaan tätä käännekohtaa, vaan sijaitsevat tämän käännekohdan yläpuolella. Näitä sanotaan sinisiksi muukalaisiksi (blue stragglers). Syytä tähän ei täysin varmasti tunneta, mutta todennäköisesti ne ovat lähekkäisten kaksoistähti-systeemien komponentteja (sininen muukalainen ja valkoinen kääpiö). Tällaisen lähekkäisen kaksoistähtisysteemien komponentin kehitys poikkeaa yksittäisen tähden kehityksestä, koska komponenttien välillä esiintyy massan vaihtoa kehityksen aikana.

Kun edelleen seuraamme pallomaisen joukon tähtien muodostamaa kuviota HR-diagrammissa, tulemme punaiseen jättiläishaaraan (red-giant branch). Tämän jälkeen hyppäämme horisontaalihaaran (horizontal branch) kuumiin sinisiin tähtiin ennen siirtymistä asymptoottihaaraan (asymptotic branch), koska näin menetellen siirrymme koko ajan pitemmälle kehityksessään ehtineisiin tähtiin, kuten luvussa 6c tulemme näkemään.

Horisontaalihaaran ja asymptoottihaaran välissä sijaitsevat joukon sykkivät muuttuvat RR Lyrae-tähdet. Nämä sijaitsevat samalla alueella kun teoreettisesti laskien tähti joutuu sykkimään.

Tähtien rakenteen ja kehityksen teorian kannalta varsin tärkeä tehtävä on ymmärtää tällaisen HR-diagrammin muoto, eri tyyppisten tähtien havaitut ominaisuudet sekä eri tyyppisten tähtien suhteelliset esiintymisrunsaudet. Kuten 6c:ssä näemme tämä onnistuukin monessa suhteessa varsin hyvin, mikäli teemme sen luonnollisen oletuksen että joukon tähdet ovat suurinpiirtein samanikäisiä. Tällöin käy ilmi myös se, että pallomaisen joukon eri tyyppiset tähdet (katso kuva 8) ovat hyvin erilaisissa kehitysvaiheissa. Näin ollen pallomaisten joukkojen tutkiminen on myös tähtien kehityksen teorialle itselleen tärkeää, varsinkin myöhäisten kehitysvaiheiden osalta.

Edelleen Linnunratamme varhaisissa kehitysvaiheissa vallinneiden alkuaineiden runsaussuhteiden selvittämisessä ovat tärkeitä pallomaiset joukot, sekä niiden tähtien kehityksen teoreettinen tutkiminen.



Kuva 8. Tyypillisen pallomaisen joukon HR-diagrammi kaavamaisesti esitetynä. Yksi piste edustaa joukon yksittäistä tähteä. Pystyakselilla on tähden visuaalinen magnitudi. Vaaka-akselilla on tähden väri. Joukon eri tyyppisten tähtien nimitykset ovat merkityt kuvaan (kts. tekstiä). (Icko, Iben, Publ. Astr. Soc.Pac., 1971, 83, 699).

6b. Pallomaisen joukon tähtien alkuperäinen kemiallinen koostumus

Tähden alkuperäinen kemiallinen koostumus on ainakin suurinpiirtein tunnettava, mikäli tähden kehitystä lähdetään teoreettisesti seuraamaan ja vertaamaan havaintoihin (parametrit Z ja Y luvussa 1). Tämä asia oli esillä kirjoituksen alkuosassa. Tällöin myös todettiin että pallomaisten joukkojen tähtien pintakerroksien metallipitoisuus (heliumia raskaammat alkuaineet) on likimain sata kertaa pienempi kuin esim. auringolla (kts. taulukkoa 1). Tämän metallipitoisuuden otaksutaan edustavan sen aineen metallipitoisuutta josta tähti on muodostunut.

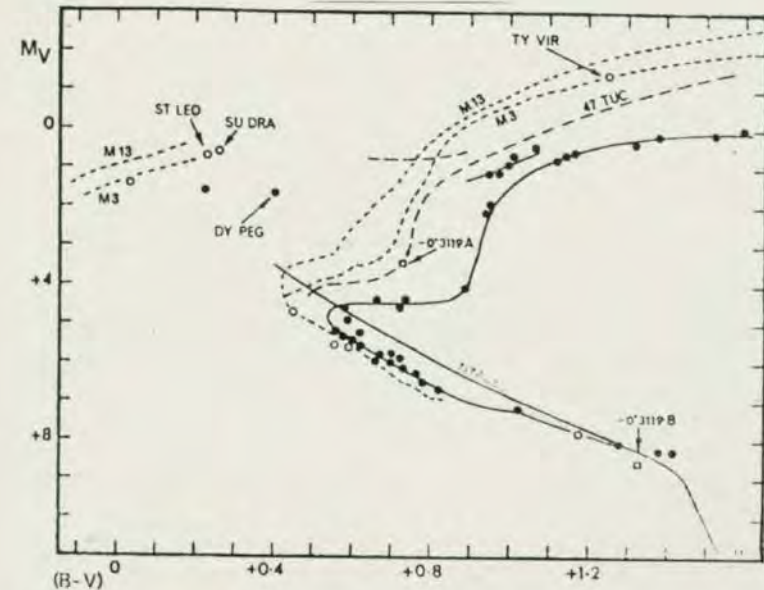
Kuva sivulla 85 esittää hieman yksityiskohtaisemmin iän ja metallipitoisuuden välistä yhteyttä eräille galaktisille avoimille joukoille, auringolle, sekä muutamille vanhoille pallomaisille joukoille (M 2, M 3, M 5, M 13). Pystyakselilla oleva suure tarkoittaa heliumia raskaampien alkuaineiden atomien lukumäärän suhdetta vetyatomien lukumäärään verrattuna aurinkoon logaritmisessa skaalassa. Siten esim. -2.0 tarkoittaa että tähden pinnalla on sata kertaa vähemmän raskaita alkuaineita kuin auringossa. Joukoille ikä on määrätty isokroonien avulla. Pallomaisten joukkojen pieni metallipitoisuus on selvästi nähtävissä. Samoin se että Linnunradan aineen rikastuminen raskailla alkuaineilla on ollut hyvin nopeaa noin 20–25 miljardia vuotta sitten, mutta tasaantunut sen jälkeen huomattavasti.

Pallomaisten joukkojen tähtien alkuperäisen helium-pitoisuuden selvittäminen on myös ensiarvoisen tärkeää kun teoreettisia laskuja verrataan havaintoihin. Tämän määrittäminen spektroskooppisista havainnoista on kuitenkin tuottanut hankaluuksia siitä syystä, että pallomaisissa joukoissa vain harvat tähdet ovat niin kuumia että niiden spektreissä esiintyisi helium-atomien synnyttämiä spektriviivoja. Ainoastaan sinisimmät horisontaalihaaran tähdet tulevat kysymykseen, mutta pallomaisten joukkojen etäisyyden vuoksi nämäkin ovat niin heikkoja että tämänkaltaisten havaintojen saaminen niistäkin on vaikeaa. Joitakin tuloksia on saatu suurilla kaukoputkilla, mutta tulokset ovat olleet ristiriitaisia ja monasti samantapaisia kuin populaation I Ap ja Bp tähdillä. Näin ollen Bp tähtien tutkiminen on olennaista pallomaisten joukkojen suhteen, jotta horisontaalihaaran tähtien spektroskooppisia havaintoja osattaisiin oikein tulkita oikean helium-pitoisuuden selvittämisessä. Vanhojen objektien, kuten pallomaisten joukkojen tähtien, alkuperäisen helium-pitoisuuden selvittämisellä olisi myös laajempaa merkitystä, koska se osaltaan saattaa kertoa jotakin Linnunratamme varhaisista kehitysvaiheista.

Koska havaintoja pallomaisten joukkojen tähdistä vaikeuttaa näiden tähtien heikkous, olisi tietenkin tärkeää löytää kohteita jotka ovat yhtä vanhoja mutta lähellä aurinkoa, ja siitä syystä kirkkaita ja helppoa havaita. Tällaisia tähtiä saattavat olla eräitten Eggenin ns. liikkuvien ryhmien (moving

groups) tähdet. Tällaiset tähtiryhmät sijaitsevat lähellä aurinkoa hajallaan, ja liikkuvat samaan suuntaan avaruudessa samanlaisilla nopeuksilla, mistä niiden päätelläänkin muodostavan fysikaalisen joukon. Eräiden liikkuvien ryhmien HR-diagrammien muodon perusteella ne näyttävät olevan hyvin vanhoja, yhtä vanhoja kuin pallomaiset joukot. Kuva 10 esittää kahden tällaisen liikkuvan ryhmän (σ Pup ja Kapteynin ryhmä) HR-diagrammit yhdessä eräiden vanhojen pallomaisten joukkojen HR-diagrammien kanssa.

Muitakin mahdollisuuksia pallomaisten joukkojen tähtien helium-pitoisuuden selvittämiselle on. Eräs keino on laskea teoreettisesti, eri helium-pitoisuuksia parametrina käyttäen, kehittyneiden tähtien ominaisuuksia ja verrata niitä havaittuihin ominaisuuksiin. Eräs heliumin määrästä herkästi riippuva suure on jättiläishaaran tähtien lukumäärän suhde asymptoottihaaran tähtien lukumäärään (kts. kuva 8). Edelleen toinen helium-pitoisuudesta herkästi riippuva asia on RR Lyrae-muuttujien ominaisuudet. Vertaamalla



Kuva 9. Väri-magnitudi diagrammi liikkuvien ryhmien σ Pup:n (mustat pisteet) ja Kapteynin ryhmän (avoimet ympyrät) tähdille. Avoimen joukon Hyadien sekä pallomaisten joukkojen M3, M13 ja 47 Tuc kaaviot on myös esitetty kaavamaisesti vertailun vuoksi. ST Leo, SU Dra ja DY Peg ovat ryhmien muuttuvia tähtiä (lyhytjaksoisia RR Lyrae-muuttujia). (Eggen, *Vistas in Astronomy*, Vol 12, sivu 404).

teoreettisesti laskettuja RR Lyr-muuttujia havaittuihin muuttujiin, voidaan heliumin määrä tietyissä rajoissa saada selville. Tällaiset laskut antavat heliumin määrälle suurinpiirtein samanlaisia arvoja kuin mitä populaatio In tähdissä ja auringossa esiintyy, eli n. 30 % heliumia siinä aineessa mistä tähti on muodostunut. Tällaista tulosta haittaa kuitenkin toistaiseksi teoreettisten laskujen epävarmuus.

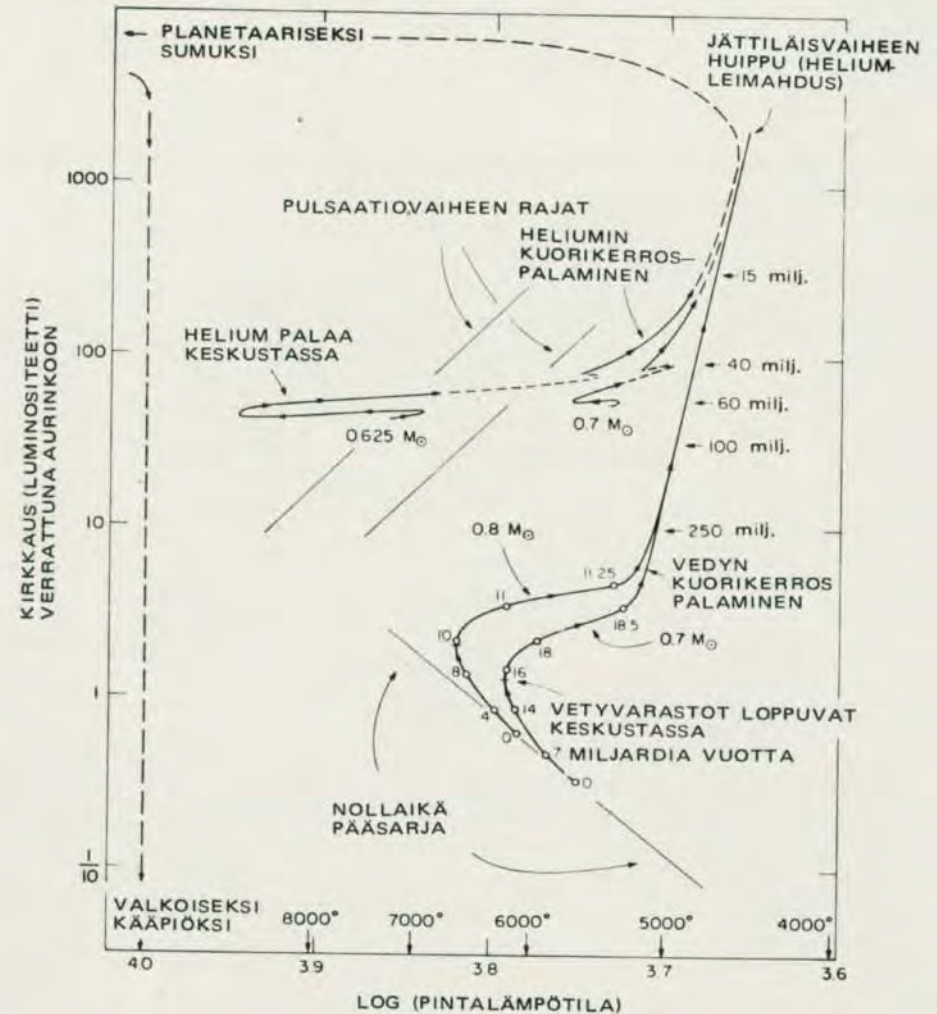
Yhteenvedona voi sanoa että pallomaisten joukkojen alkuperäistä helium-pitoisuutta ei vielä varmuudella tunneta, niin tärkeää kuin se olisikin. Teoreettisissa laskuissa käytetään yleensä helium-pitoisuuksia mitkä vaihtelevat 0–30 %.

6c. Pallomaisen joukon tähdet tähtien kehityksen teorian valossa

Tässä luvussa tarkastelemme hieman millaisia tähtiä rakenteeltaan pallomaisen joukon tähdet (katso kuva 8) otaksuttavasti ovat. Apuna tähän käytämme samanlaisia teoreettisia laskuja tähtien kehityksestä joista jo oli puhe luvussa 2. Oletamme edelleen että joukon tähdet ovat samanikäisiä sekä samasta aineesta muodostuneita.

Kuva 10 esittääkin samalla tavalla konstruoituja kehityskäyriä HR-diagrammissa kuin mitä kuvan 1 yhteydessä oli jo puhe. Nyt rajoitumme ainoastaan pienimassaisiin tähtiin, koska vain näin menetellen tulee joukon kaareutumiskohta (turn-off point) riittävän myöhäisen spektriluokan kohdalle, ja joukon iäksi näin ollen pari kymmentä miljardia vuotta (kts. numeroita kuvassa 10). Laskuissa on oletettu $Z=0.001$ ja $Y=0.1$. Kuvasta nähdään että tähden kehitysaika riippuu hyvin voimakkaasti tähden massasta, mutta kehityskäyrien muodot ovat hyvin samanlaisia 0.7 ja 0.8 auringon massaisille tähdille. Näiden kahden eri massaisen tähden käyrät sitä paitsi yhtyvät kun tähdet nopeasti liikkuvat jättiläishaaraa pitkin kohti jättiläishaaran huippua. Vertaamalla tätä kuvaa kuvaan 8, voidaan todeta että pallomaisen joukon tähdet käännekohdasta jättiläishaaran huippuun asti ovat hyvin samanmassaisia. Edelleen jättiläishaaran tähdet ovat tähtiä jotka saavat energiansa vedyn muuttuessa heliumiksi ohuessa kerroksessa heliumytimen reunalla, samalla kun tähti laajenee ja kirkkaus kasvaa sen liikkuessa ylöspäin tätä ns. Hayashi-viivaa pitkin (katso lukua 2).

Kuten luvussa 2 oli jo puhe, jättiläishaaran huipulla tähden keskustan lämpötila tulee niin suureksi että helium alkaa muuttua hiileksi, mutta tämä tapahtuu räjähdysnomaisesti. Tässä helium-leimahduksessa tähti todennäköisesti puhalttaa osan massaansa ympäröivään avaruuteen, mutta menetetyt massan määrää ei toistaiseksi osata teoreettisesti ennustaa. Teoreettisten laskujen mukaan tähti kuitenkin pystyy saavuttamaan sellaisen tasapainotilan missä helium muuttuu hiileksi rauhallisesti tähden keskustassa. Tällöin tähti sijaitsee HR-diagrammissa viivalla jota sanotaan nolla-ikäiseksi horisontaalilaa-



Kuva 10. Pienimassaisten tähtien teoreettisia kehityskäyriä HR-diagrammissa. Tähtien massat lausuttuina auringon massoina ovat merkityt käyriille. Numerot pääsarjasta vedyn palamiseen kerroksessa tarkoittavat tähden iäksi lausuttuna miljardeissa vuosissa. Ylemmät numerot taas tarkoittavat aikaa mikä kestää ko. kohdasta helium-leimahduksen lausuttuna miljoonissa vuosissa. Pystyakselilla on tähden luminositeetti auringon luminositeeteissa ilmaistuna. Vaaka-akselilla on tähden pinnan efektiivinen lämpötila ($^{\circ}\text{K}$) ja myös sen logaritmi. (Icko Iben, *Publ Astr. Soc. Pac.*, 1971, 83, 708).

raksi. Huomaa kuvasta 11 että tähden paikka tällä viivalla voimakkaasti riippuu siitä millaisia arvoja helium-leimahduksen jälkeiselle massan kadolle oletetaan. Seuraavan nuolilla merkityn pätkän nämä teoreettiset tähdet kulkevat noin 60 miljoonassa vuodessa, ja ne saavat energiansa heliumin muuttuessa hiileksi keskustassa, sekä vedyn heliumiksi ohuessa kerroksessa mikä energialähde on jäljellä yhä jättiläisvaiheen ajoilta. Vertaamalla kuvia 10 ja 8 keskenään on luontevaa olettaa että pallomaisten joukon horisontaalivyön tähdet ovat juuri tällaisia tähtiä.

Seuraavat katkoviivoilla merkityt pätkät teoreettiset tähdet kulkevat nopeasti (n. 5 milj. vuodessa). Tällöin tähden keskustan heliumvarastot ovat loppuneet ja tähdelle on alkanut muodostua tiheä hiili-ydin. Tämän jälkeen kehitys hieman hidastuu ja tähti saa energiansa kahdesta erillisestä kerroksesta: heliumin muuttuessa hiileksi tiheän hiiliytimen reunalla, sekä tämän ulkopuolella vedyn muuttuessa heliumiksi. Pallomaisten joukkojen asymptottihaaran tähdet identifioimme tällaisiksi tähdiksi.

Kuvan katkoviiva, mikä osoittaa mahdollista kehitystä planetaariseksi sumuksi, on spekulatiivinen.

Verrattaessa pallomaisten joukkojen havaintoja ja teoriaa toisiinsa, on tietyissä kehitysvaiheissa mahdollisilla massan kadoilla suuri merkitys, mikä ilmenee myös kuvasta 10. Teoreettisesti tätä ei pystytä laskemaan. Tarkat havainnot pallomaisten joukkojen tai muiden vanhojen joukkojen (kuten kuvan 9 liikkuvat ryhmät) jättiläis- ja asymptottihaaran tähdistä voivat antaa vastauksen siihen kuinka paljon näiden haarojen tähdet eroavat massaltaan. Näiden haarojen vertaamisella voidaan myös selvittää tapahtuuko heliumleimahduksessa tähden sisäosien ja pintakerrosten aineen sekoittumista.

Päätämme tämän luvun toteamukseen, että tähtien kehityksen teorian avulla on pallomaisten joukkojen tähtiä voitu yhä paremmin ymmärtää. Kääntäen taas nämä joukot ovat tärkeitä havaintokohteita teorian edelleen kehittämiseksi.

7. Tähtien syntyminen ja kuoleminen

Tässä kirjoituksessa on ollut hyvin vähän puhetta siitä kuinka tähdet syntyvät. Tällä tarkoitamme kaikkia niitä kehitysvaiheita mitä tähti on läpikäynyt ennen pääsarjavaihettaan, ennen muuttumistaan tähden kaltaiseksi objektiksi. Hyvin laajaa kannatusta on saanut sellainen käsitys että tähtiä syntyy tähtienvälisen harvojen kaasupilvien kutistumisen tuloksena. Teoreettisten laskujen mukaan harva kaasupilvi kutistuu gravitaation vaikutuksesta hyvin lyhyessä aikaskaalassa sellaiseksi tähdeksi, missä lämpötila keskustassa on

riittävän korkea vedyn ydinreaktioiden käynnistämiseksi, toisin sanoen pääsarjan tähdeksi. Tämän lyhyen aikaskaalan vuoksi on ymmärrettävästi vaikeaa löytää tässä kehitysvaiheessa olevia tähtiä. Tämän teorian mukaan tähti on hyvin valovoimainen mutta pintalämpötilaltaan kylmä tietyssä kutistumisen vaiheessaan. HR-diagrammissa se sijaitsisi jossakin yläoikealla. Tällaisen pintalämpötilaltaan kylmän tähden säteily sattuu johonkin infrapuna-alueelle. Näin ollen infrapuna-alueella tehtyjen havaintojen harvoissa kaasupilvissä esiintyvistä kaasutiivistymistä uskotaankin antavan ratkaisevaa valaistusta tähtien syntyongelmaan.

Tähtien syntyminen harvoista kaasupilvistä tiivistymisen kautta ei kuitenkaan ole ainoa tähtien syntyteoria. Täysin välttämätöntä on mainita myös toinen, edelliselle täysin vastakkainen hypoteesi tähtien muodostumisesta. Tätä on jatkuvasti esittänyt neuvostoliittolainen, Helsingissäkin vuonna 1972 vierailnut tähtitieteilijä, akteemikko V.A. Ambartsumian. Ambartsumianin sekä hänen bjurakanilaisten tutkijavereittensa mukaan tähtiä syntyy hyvin tiheästä, neutronitähtiäkin tiheimmästä, ns. protoaineesta laajenemisen kautta. Tämä prototähti laajenee tavalla tai toisella tavalliseksi pääsarjan tähdeksi. Mahdollisesti ehkä myös siten, että prototähti ensin hajoaa harvaksi kaasupilveksi, jonka jälkeen tiivistyminen pääsarjaan tapahtuu kuten edellisessäkin teoriassa. On myös mahdollista, että Ambartsumian on vain tietoisesti halunnut synnyttää väittelyä oikean ratkaisun löytämisen nopeuttamiseksi. Ambartsumian ja hänen teorian kannattajat uskovat että sellaiset tähdet kuten flare-tähdet ja FU Orionis-tähdet (ns. fuorit) ovat tällaisessa prototähden laajenemisvaiheessa tai ainakin hyvin lähellä sitä. Näissä tähdissä esiintyvät purkaukset johtuisivat siitä kun tiheää (fysikaalisilta ominaisuuksiltaan tuntematonta) protoainetta kulkeutuu tähden sisältä pinnalle. Tällaisia tähtiä havaitaan intensiivisesti monessa observatoriossa, mm. Bjurakanissa.

Lopullisia mahdollisia päätepisteitä yksittäisen tähden kehitykselle tunnetaan useita. Tällaisia ovat ominaisuuksiltaan laadullisesti hyvin erilaiset valkoiset kääpiöt, neutronitähdet ja mustat reiät. Luonnollisesti nämäkin saattavat kehittyä vielä täysin toisenlaisiksi, mikäli esimerkiksi niiden massa kasvaa jatkuvasti vaikkapa tähtienvälisen kaasun keräytymisen tuloksena. Edelleen ne ovat aina osa jostakin suuremmasta järjestelmästä minkä oma kehitys ennemmin tai myöhemmin tempaa yksittäiset tähdetkin mukaan, repii ne hajalle tms. Jonkinlaisina päätepineinä yksittäisen tähden kehityksessä niitä kuitenkin voitaneen pitää. Monet tietänevätkin että todennäköisesti pulsarit ovat neutronitähtiä ja että eräiden satelliiteista röntgen-alueella havaittujen kaksoistähtien toiset komponentit ovat mahdollisesti mustia reikiä.

Tähtien kehityksen ajankohtaisena tehtävänä onkin selvittää millä edellytyksillä tähti kehittyy neutronitähdeksi tai mustaksi reiäksi, ja kuinka se

tapahtuu. Nämä myöhäiset heliumin palamisen jälkeiset tapahtumat riippuvat hyvin herkästi mm. tähden kokonaismassasta, tähden pyörimisliikkeestä sekä siitä kuuluuko tähti kaksoistähtisysteemiin. Näistä riippuu myös se tuleeko tähdestä lopulta valkoinen kääpiö, neutronitähti vai musta reikä. Myöhäiset kehitysvaiheet ovat myös hyvin nopeita ja katastrofaalisiaakin, mikä tekee niiden teoreettisen käsittelyn vaikeaksi. Aikaskaalojen lyhyiden vuoksi ovat myös havainnot näissä kehitysvaiheissa olevista tähdistä niukkoja. Voimme olla kuitenkin varsin optimistisia siihen että ennemmin tai myöhemmin ymmärrämme mitä tähdessä tapahtuu sen muuttuessa esimerkiksi mustaksi reiäksi, samoin kuin senkin kuinka tähden syntyminen oikein lähtee käyntiin.

AURINGON MAGNEETTISISTA KENTISTÄ

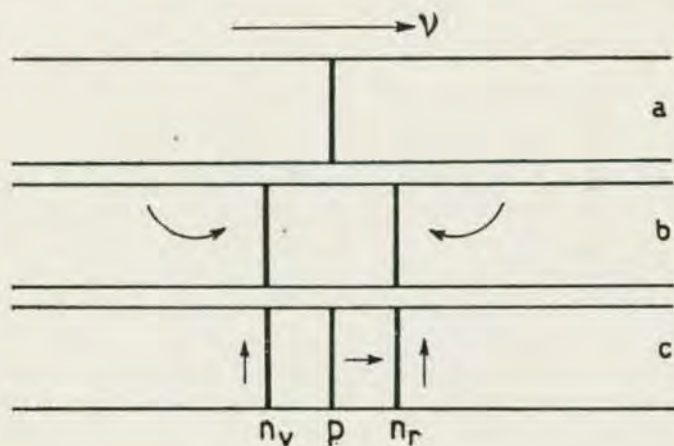
Jaakko Tuominen

1. **Maapallon magneettinen kenttä.** – On jo kauan tunnettu asia että maapallolla on magneettinen kenttä. Tähän perustuu varsinkin merenkulussa niin tärkeä väline, kompassi. Sen käyttäjät tietävät ettei kompassi näytä tarkalleen todelliseen maantieteelliseen pohjoiseen, vaan hiukan tästä poikkeavaan suuntaan. Lisäksi tiedetään että tämä erotus todellisen pohjoisen ja kompassin osoittaman pohjoisen välillä muuttuu hitaasti vuodesta toiseen. Tutkimukset ovat osoittaneet maan magneettisen kentän muuttuneen jopa siinä määrin että muutamien satojen miljoonien vuosien kuluessa pohjoisnapa ja etelänapa ovat useita kertoja vaihtaneet paikkaa. Kompassineulan pohjoispää on siis välillä osoittanut etelänapaa kohti.

2. **Zeeman-efekti.** – Myöskin toisten taivaankappaleiden magneettisia kenttiä voidaan tutkia, tarvitsematta sitä varten viedä kompassineulaa niihin. Tähän antaa mahdollisuuden ns. Zeeman-efekti: Kun valolähteestä tulevan valon tielle asetetaan prisma tai hila, valo hajautuu spektriiksi. Eri aineiden spektrit sisältävät yleensä ns. spektriviivoja. Ne voivat olla kirkkaita, eli emissioviivoja, mutta on myös olemassa tummia, ns. absorptioviivoja. Viimeksi mainitut ovat yleisiä nimenomaan auringon ja tähtien spektreissä. Jos valon annetaan kulkea lisäksi magneettisen kentän läpi, spektriviivat jakautuvat joko kolmeksi tai kahdeksi viivaksi. Nämä osaviivat ovat eri tavoilla polarisoituneet, toisin sanoen värähdykset, jotka valoalloille aina tapahtuvat kohtisuoraan niiden etenemissuuntaa vastaan, ovat eri osaviivoissa eri tavoin järjestäytyneet. Miten kauas viivojen osat eroavat toisistaan ja millä tavalla jakautuminen yleensä tapahtuu, tunnetaan fysikaalisen teorian ja laboratoriokokeiden perusteella. Yleensä viivat jakautuvat sitä enemmän mitä voimakkaampi magneettinen kenttä on. Heikossa kentässä jakautuminen ilmenee viivojen levenemisenä.

3. **Hale'in havainnot.** – Ensimmäiset tällaiset havainnot toisista taivaankappaleista teki vuosina 1907 – 1908 Hale Mount Wilsonin Observatoriossa. Hale tutki auringonpilkkuja ja sai tällöin selville että niillä on magneettisia kenttiä aina 5 000 gaussiin asti. Auringonpilkkujen magneettisia kenttiä on sen jälkeen tutkittu Mount Wilsonin Observatoriossa jokseenkin säännöllisesti.

Mutta koska tiedettiin maapallolla olevan magneettinen kenttä, oli täysi syy epäillä että auringollakin olisi myöskin yleinen magneettinen kenttä, ja että siis auringollakin olisi magneettinen pohjois- ja etelänapa kuten maalla. Hale yrittikin vuonna 1912 mitata auringon yleisen magneettisen kentän käyttämällä



Kuva 1. Zeeman-effekti. Abskissa: valon frekvenssi (värähdystä sekunnissa). Kun valo kulkee magneettisten voimaviivojen suunnassa, alkuperäinen, ilman magneettista kenttää havaittava spektriviiva (a) jakautuu kahdeksi (b). Nämä ovat vastakkaisiin suuntiin sirkulaarisesti polarisoituneet. Vaikka viivojen väli olisi niin pieni että ne osittain peittäisivät toisensa, jakautuminen voidaan havaita viivan edestakaisin siirtymisenä kun vuorotellen poistetaan toinen ja toinen viiva. Jos kentän voimaviivat ovat kohtisuorassa valonsädettä vastaan (c), viiva jakautuu kolmeen lineaarisesti polarisoituneeseen osaan. Koska äärimmäiset osat ovat samalla tavoin polarisoituneet, niitä ei voida erikseen poistaa, joten tällaisen kentän voimakkuuden mittaaminen on vaikeampaa kuin tapauksen (b). (Abetti: *The Sun*, Fig. 48).

samoja välineitä joilla hän oli mitannut auringonpilkkujen kentät. Vuoteen 1918 asti jatkuneiden tutkimusten tuloksena oli että auringolla on yleinen magneettinen kenttä jonka voimakkuus on 25 – 50 gaussia, siis noin sadasosa auringonpilkkujen kentästä. Hale työkumppaneineen onnistui löytämään auringon magneettisten napojen paikat ja he saivat selville että auringon magneettinen akseli poikkeaa auringon pyörimisakselista 6 asteen verran. Maan ja auringon magneettiset akselit ovat likimain yhdensuuntaiset. Ts. magneettiset pohjoisnavat ovat kummassakin samalla puolella ja samoin etelänavat. Nämä tiedot jäivät sitten tähtitieteellisiin kirjoihin varsin pitkäksi ajaksi. Ja näiden tietojen pohjalla on laadittu laajoja teorioita auringon ympäristön ja sisuksen magneettisista ominaisuuksista. Juuri ne ovat suurelta osalta johtaneet kokonaan uuden tieteenalan, ns. kosmisen elektrodynamiikan ja magnetohydrodynamiikan syntyymiseen. Näillä teorioilla on sitten ollut suuri merkitys mm. nykyajan ydintekniikassa.



Kuva 2. Aurinko. Useita pilkkupareja eli ns. bipolarisia ryhmiä näkyvissä. Valokuvattu Mt. Wilsonilla 21/12 1957. (Harold Zirin: *The Solar Atmosphere*, Blaisdell 1966, Fig. 1.1.)

4. Uudemmat havainnot. — Mutta kukaan muu ei pitkään aikoihin Mount Wilsonin tähtitieteilijän jälkeen ottanut tutkiakseen auringon yleistä kenttää. Edistystä asiassa alkoi tapahtua vasta vuonna 1938, jolloin Babcock, myöskin Mount Wilsonilla, rakensi uuden entistä paljon tarkemman laitteen auringon magneettisen kentän mittaamiseksi. Mutta työ osoittautui niin vaikeaksi, ettei mihinkään tulokseen päästy. Babcockista riippumatta von Klüber aloitti sodan aikana vuosina 1943 – 1944 saman asian selvittämisen Potsdamin

astrofysikaalisessa observatoriossa Saksassa. Hänelläkin oli tarkemmat menetelmät kuin mitä Hale'illä ja tämän työkumppaneilla oli ollut. Mutta von Klüberin ja hänen työkumppaninsa Müllerin saama tulos oli pelkästään se että auringon magneettinen kenttä oli paljon pienempi kuin 10 gaussia, siis joka tapauksessa paljon pienempi kuin mitä Hale oli saanut tulokseksi. Melkein shokin tavoin vaikutti tähtitieteilijäin maailmassa kun Thiessen Hampurin observatoriossa vuosina 1947 – 1948 osoitti että auringon yleinen magneettinen kenttä, jos sellaista on olemassa, on niin pieni ettei sitä hänen käyttämillään varsin tarkkoilla laitteilla lainkaan voida mitata. Se on ehkä korkeintaan 1 – 2 gaussia. Sitten Thiessen vielä paransi käyttämäänsä tekniikkaa ja otti käyttöön elektronisia mittaussaitteita. Vuonna 1949 hän sai selville että auringossa tosiaankin on yleinen magneettinen kenttä jonka kenttävoimakkuus on noin puolitoista gaussia, ja että auringon magneettinen akseli on suunnattu päinvastaiseen suuntaan kuin maan magneettinen akseli. Sen jälkeen mittaustekniikkaa parannettiin yhä ja von Klüber, joka silloin oli Cambridgessä, Englannissa, mittasi vuosina 1949 – 1950 auringon magneettiseksi kentäksi korkeintaan vain 1 – 2 gaussia ja Thiessen vuonna 1951 runsaat 2 gaussia. Thiessenin mittausta oli erittäin tarkka ja se osoitti uudelleen että auringon magneettinen akseli on toisin päin suunnattu kuin maan magneettinen akseli. Mutta tällä välin oli jo amerikkalainen Babcock kehittänyt menetelmänsä auringon magneettisen kentän mittaamiseksi mahdollisimman pitkälle. Sen jälkeen hän suoritti systemaattisia mittauksia auringosta. Ja nämä antoivat hämmästyttäviä tuloksia, samalla kun ne vahvistivat Thiessenin ja von Klüberin aikaisemmin tekemät havainnot oikeiksi. Auringon kenttä osoittautui mm. toisinpäin suunnatuksi kuin maan kenttä. Mutta maaliskuun ja heinäkuun välillä vuonna 1957 auringon etelänavan magneettinen polariteetti vaihtui. Pohjoisnapa sen sijaan ei vaihtunut ennen kuin vasta marraskuussa 1958, jolloin se vaihtoi merkkiä jokseenkin äkkiä. Tämä merkitsee siis sitä että enemmän kuin vuoden ajan auringon magneettisilla navoilla oli sama merkki. Kumpikin vastasi maapallon magneettista etelänapaa. Marraskuun 1958 jälkeen auringolla oli taas kaksi erinimistä napaa ja sen magneettinen akseli samalla tavalla suunnattu kuin maan magneettinen akseli.

5. Muut taivaankappaleet. – Mutta jo ennenkuin näin pitkälle oli päästy auringon tutkimisessa, Babcock oli löytänyt useita tähtiä joilla on magneettinen kenttä ja joiden kenttä vaihtelee vieläpä siten että niiden magneettinen akseli muuttaa suuntaansa, siis sama ilmiö mikä nyt huomattiin auringossa. Magneettisten tähtien kentät ovat hyvin voimakkaita, useita tuhansia gausseja, toisin kuin auringon jonka kenttä on kovin heikko. Kaiken lisäksi useat toisistaan riippumattomat ilmiöt näyttävät osoittavan että tähtienvälisessä avaruudessaakin on magneettisia kenttiä, joiden voimakkuudet

on kuitenkin voitu arvioida vain varsin likimääräisesti.

6. Hale'in tuloksen arvoitus. – Mutta miten sitten on suhtauduttu Hale'in vanhoihin havaintoihin. Tietysti niitä on ruvettu uudelleen penkomaan. Suuri osa niistä on tehty silmällä katsomalla, osa taas valokuvaamalla. Ja silmällä tehtyjä havaintoja ei mitenkään voida jälkeensä tarkistaa. Yleensä on osoittautunut että osa Hale'in tekemistä havainnoista viittaa siihen että auringossa todella olisi noin 50 gaussin magneettinen kenttä, kun taas toiset pikemminkin osoittavat että mitään kenttää ei olisi. Asiaa ei ole pystytty jälkeensä ratkaisemaan. Toiselta puolen on osoitettu, ettei Hale'in ja hänen työkumppaniensa menetelmällä olisi voitu mitatakaan sen heikompaa kenttää kuin 20 gaussia. Heidän käyttämänsä menetelmä oli siis kovin epätarkka.

7. Magnetohydrodynamiikan synty. – Kuten jo mainittiin, Thiessenin havainto että auringon magneettinen kenttä on tavattoman heikko yllätti tutkijat ympäri maailman. Tämä johtui osittain niistä laajoista teorioista joita auringon oletetun 50 gaussin voimaisen kentän perusteella oli tehty. Näitä teorioita ruvettiin sitten uudelleen muokkaamaan ja etsimään mahdollisuuksia eikä heikompiin kenttä riittäisi selittämään tutkitut ilmiöt. Toiselta puolen koko juttu vilkastutti tavattomasti ns. magnetohydrodynamiikan tutkimusten suorittamista, jotka ulottuvat aina tekniikan piiriin saakka.

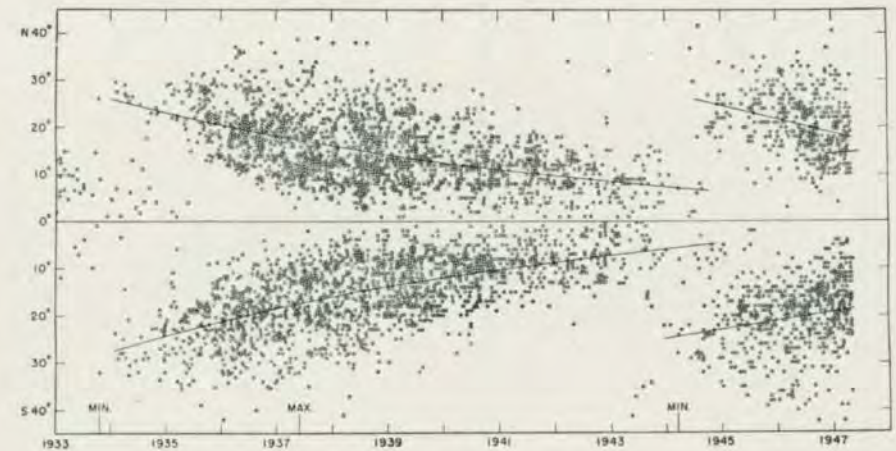
Mutta tutkijain mielenkiinto ei tietenkään pysähdy ilmiöitten havaitsemiseen ja toteamiseen ja niiden voimakkuuden mittaamiseen. Päinvastoin yritetään selvittää mistä mikin asia johtuu ja millä tavoin eri ilmiöt ovat toisistaan riippuvaisia. Viittasin jo uuden tieteenalankin syntymiseen. Mutta sitä paitsi tähtitieteilijäin keskuudessa jatkuu vilkkaana keskustelu tähtien ja auringon magneettisen kentän olemuksesta ja sen syystä. Suuren mielenkiinnon kohteena on tällöin aurinko. Tämä onkin luonnollista, sillä auringosta voidaan tehdä parhaat ja yksityiskohtaisimmat havainnot.

Jotkut ovat jopa tehneet laboratoriokokeita auringon – ja erityisesti sen pilkkujen – ilmiöitten selvittämiseksi. Keinotekoisesti aikaansaatuun magneettiseen kenttään on asetettu sähköä johtavalla juoksevalle aineella (jollaista auringonkin aine on) täytetty astia, jossa olevaa ainetta sitten on sopivasti liikuteltu. Tällaisia kokeita ei kuitenkaan täysin voida verrata taivaankappaleiden ilmiöihin. Toisin kuin laboratoriokokeissa, tähtien ja maailmanavaruuden aine on **sen** magneettisen kentän vaikutuksen alainen **joka** on ja syntyy niissä itsessään. Tämä mutkistaa asiaa suuresti laboratoriokokeisiin verrattuna, joskin samat fysiikan peruslait vallitsevat kummassakin. Asia muistuttaa sitä että tähtien liikkeitä linnunratajärjestelmässä määrää niiden itsensä synnyttämä painovoimakenttä. Tällaistaakaan olotilaa ei laboratoriossa voida matkia.

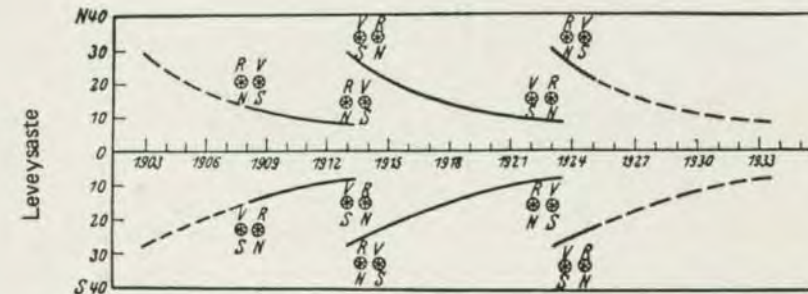
8. **Babcock'in teoria.** — Ratkaisevasti auringon magneettisen kentän olemuksen teoreettiseen ymmärtämiseen on vaikuttanut Babcock'in vuonna 1960 esittämä teoria, saman henkilön, joka asiasta teki ratkaisevat havainnot. Babcockin teoria on niin yksinkertainen ja kaavamaisuudesta vapaa että se joistakin epäselvyyksistään huolimatta näyttää olevan oikea tie auringon magneettisten ilmiöiden ymmärtämiseen. Näitä epäselvyyksiä on myöhemmissä tutkimuksissa korjattu. Babcock'in teorian perusolettamus on että auringon magneettinen kenttä on vain lähellä pintaa. Koska auringon pyörimisen kulmanopeus kasvaa navoilta ekvaattorille, aluksi pohjoisesta etelään kulkevat voimaviivat tulevat vähitellen idästä länteen kulkeviksi. Samalla ne jatkuvasti venyvät jolloin — yleisen sähkömagneettisen teorian mukaisesti — magneettinen kenttävoimakkuus kasvaa. Tätä jatkuu kunnes kenttä on liian voimakas pysyäkseen stabiilina. Magneettinen paine aiheuttaa kuplia jotka nousevat pintaan. Tällöin syntyvät pilkut. On helposti todettavissa että pilkkujen kentät lopulta yhdessä aiheuttavat uuden yleisen kentän joka on toisinpäin suunnattu kuin alkuperäinen kenttä. Ilmiö jatkuu sitten periodisesti. Kokonaisperiodina on noin 22 vuotta.

9. **Aurinko ennen sen magnetismin keksimistä.** — Edelliseen on lisättävä että jo kauan ennen kuin auringon magneettisista kentistä oli mahdollisuutta tietää mitään, tiedettiin että auringonpilkkujen runsaus noudatti noin 11 vuoden jaksoa. Tiedettiin myös että jakson ensimmäiset pilkut esiintyvät kaukana ekvaattorista, että niiden esiintymispaikka jakson kuluessa siirtyy kohti ekvaattoria, ja että pilkut hyvin usein esiintyvät parittain, toisen — suuremman — johtaessa auringon pyörimisliikkeen suunnassa. Samaten tiedettiin että auringon pyörimisnopeus kasvaa navoilta ekvaattoria kohti siirryttäessä. Monia muita asioita auringosta tiedettiin, mutta vasta Hale'in havainnot osoittivat että pilkkuparien johtaja ja seuraaja ovat magneettisen polariteettinsa puolesta eri merkkisiä, ja että niiden magneettinen järjestys vaihtuu jokaisen 11 vuoden jakson vaihtuessa, mikä siis tekee auringon jakson n. 22 vuodeksi.

10. **Nykytilanne.** — Ylempänä mainitusta vuodesta 1958, jolloin aikaisemmin vallinnut auringon magneettisen akselin suunta oli vaihtunut vastakkaiseksi, oli vuonna 1969 kulunut 11 vuotta. Uutta magneettisten napojen vaihtumista ei kuitenkaan näyttänyt tapahtuvan. Aurinkoa tutkivat tähtitieteilijät alkoivat jo epäillä koko ilmiön todellisuutta. On muistettava seuraava asia: Päinvastoin kuin mitä Hale'in aikana ajateltiin, ja kuten on laita esim. maapallolla, auringolla ei ilmeisesti ole mitään primääristä yleistä magneettista kenttää. Auringon napakenttä on heikko ja epämääräinen seuraus lähempänä ekvaattoria olevien pilkkujen varsin voimakkaista kentistä jotka konvektiovirtojen, ns. supergranulation vaikutuksesta leviävät napaseuduille. Pilkkujen lisäksi



Kuva 3. *Ns.* perhosdiagramma. Abskissa: aika (vuosiluku); ordinaatta: heliograafinen leveysaste. Jokainen piste tarkoittaa pilkkuryhmää. Nähdään että aktiveettijakson ensimmäiset pilkut esiintyvät kaukana ekvaattorista, viimeiset ekvaattorin läheisyydessä. (Abetti: *The Sun*, Fig. 22)

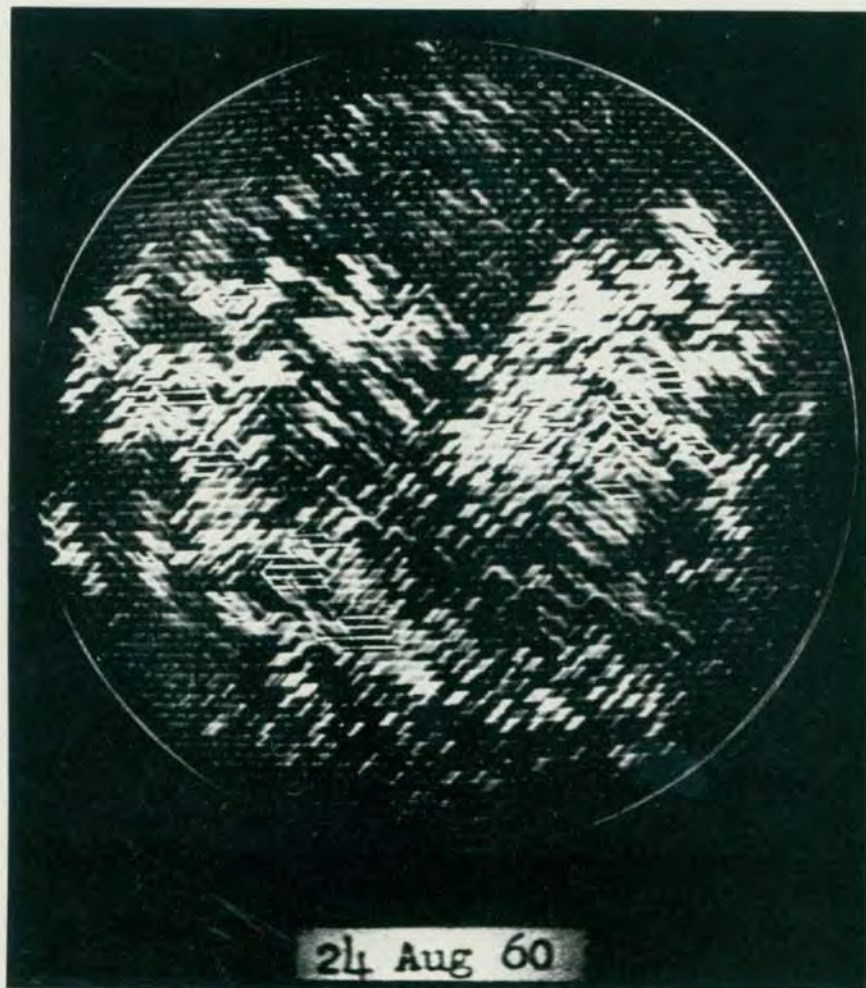


Kuva 4. Piirros osoittaa havainnollisesti pilkkuparien (eli bipolaristen ryhmien) johtajan ja seuraajan magneettisen polariteetin erimerkkisyyden sekä järjestyksen muuttumisen jokaisen uuden 11-vuoden jakson alkaessa (Abetti: *The Sun*, Fig. 54).

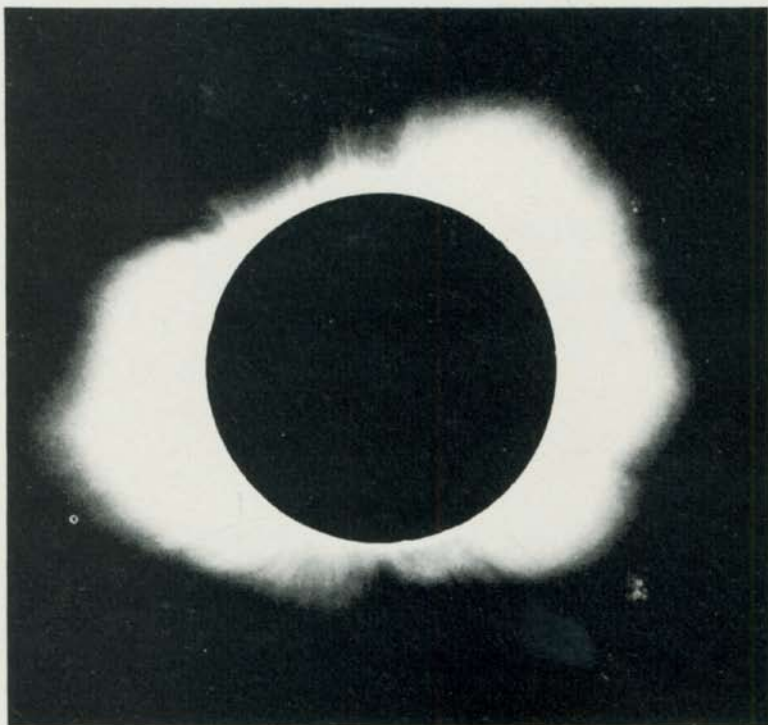
vaikuttavat silmin näkymättömät ns. bipolariset magneettiset alueet. Mistään auringon magneettisen akselin kaltevuudesta ei edes voida puhua, niin epämääräiset ja laajat napakenttä-alueet ovat. Toiselta puolen näytti varmalta että auringolla kuitenkin on yleinen magneettinen kenttä jonka akseli likimain yhtyy pyörimisakseliin. Tämä nähdään kun tarkastellaan koronan muotoa täydellisten auringonpimennysten aikoina otetuista kuvista.

Lopulta kuitenkin saatiin tietää että vuoden 1971 keskipaikkeilla auringon pohjoisnavan magneettinen polariteetti oli vaihtunut, ja että etelänavan polariteetti vaihtui vuoden 1972 keskipaikkeilla, siis kolme vuotta odotetusta myöhässä. Ilmiö oli kuitenkin niin epäselvä ettei sitä vielä vuonna 1973 Sydney'ssä pidetyssä Kansainvälisen tähtitieteellisen unionin kokouksessa julkistettu.

Kuten ylläolevasta nähdään, aurinko on tuottanut tutkijoille monia yllätyksiä, ja varmoina pidettyjä käsityksiä on jouduttu korjaamaan. Tällainen yllätys saatiin kokea esim. vuonna 1970. Tällöin, Pariisissa pidetyssä auringon magneettisia kenttiä käsittelevässä kokouksessa, tsekkiläinen Bumba esitti tuloksia jotka hän oli saanut tutkiessaan Mount Wilson'in observatoriossa havaittuja auringon magnetogrammeja. Nämä näyttävät viittaavan siihen että auringon ekvaattoriseudussa on pitkä-ikäisiä, laajoja, toisilleen vastakkaismerkkisiä magneettisia alueita jotka ovat napojen magneettisia alueita voimakkaampia. Samanlaiseen ilmiöön viittaavat eräät Krimin observatoriossa tehdyt havainnot. Asia antaa tutkimisen ja miettimisen aihetta, mutta toistaiseksi ilmiöön sinänsä on suhtauduttava varovasti.



Kuva 5. Magnetogrammi auringosta. Suorakaiteiden kaltevuussuunta ilmoittaa polariteetin merkin ja vaaleusaste kentän voimakkuuden. Pienin rekisteröity intensiteetti on noin 5 gaussia. Jos intensiteetti on yli noin 40 gaussia, kuvaan syntyy lyhyt vaakasuora viiva. Pohjoinen on ylhäällä, itä oikealla. Suurin osa ekvaattoriseudun kentistä liittyy bipolarisiin alueisiin, mutta joukossa saattaa olla jokunen näkyvä pilkkuryhmäkin. Napaseutujen polariteetin yhtenäisyys samoin kuin etelä- ja pohjoisnavan polariteettien vastakkaisuus ovat selvästi nähtävissä. (*Astrophys. Journal* 133, 1961, sivua 582 vastapäätä).



Kuva 6. Korona valokuvattuna täydellisen auringonpimennyksen aikana 8/6 1918. (Donald E. Billings; Solar Corona, Academic Press 1966)

JUPITERIN ILMAKEHÄN VIRTAUKSISTA

Jukka Nikander

Jupiterin Auringosta saama lämpö on $\frac{1}{27}$ Maahan tulleesta lämpömäärästä. Planeetan pilvien yllä oleva metaani-ammoniakkikerros on läpinäkymätön spektrin infrapuna-alueella, joten ilmakehän alempien kerrosten absorboiman Auringon lämpösäteilyn täytyy olla verraten vähäistä samoin kuin sen vaikutus ilmakehän epästabiilisuuteen, jonka välttämättä pitäisi rajoittaa päiväntasaaja-alueisiin. Havainnot kuitenkin näyttävät perin voimakasta turbulentsuutta päiväntasaajalta navoille asti ja siten osoittavat Jupiterin lämmentyneen sisältä päin. Lämmön tuottamiseen ja varastoitumiseen ilmakehän alaosassa täytyy olettaa, joku tahi jotkut seuraavista ilmiöistä:

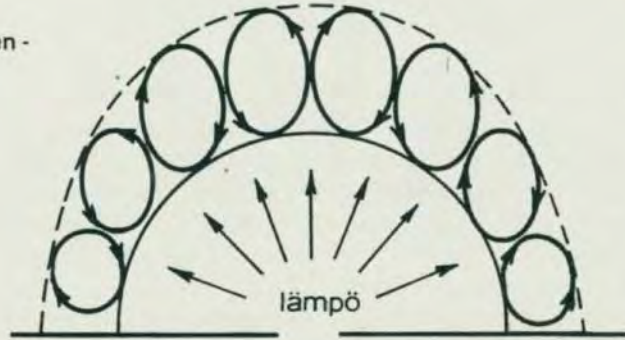
- kuoren radioaktiivisesta hajoamisesta johtuva lämpövuoto, joka kulkee alempaa ilmakehää kohti hyvin lämpöä johtavan metallisen vety-heliumkerroksen läpi,
- tiheästä ilmakehästä johtuva voimakas kasvihuone-effekti,
- kiinteän kuoren hitaasta kutistumisesta vapautuva energia.

Näin Jupiterin kaasukehän virtausten ongelma liittyy nopeasti pyörivän planeetan konvektiovirtausten tutkimiseen (kuva 1). Ilmakehän paksuus, troposfäärin alaosan lämpötila, lämpötilan muutokset korkeuden ja planeetan leveysasteen mukana, kiinteän kuoren pyörimisaika ja monet muut suureet ovat välttämättömiä kaasukehän virtausten hydrodynaamisen mallin muodostamiseksi. On selvää, että tämä työ vaatii oletuksia kokemusperäisten suureiden lisäksi.

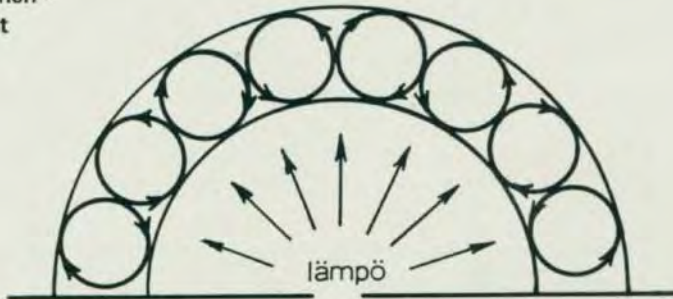
Näistä vaikeuksista huolimatta on hahmoteltu tapahtumista useita erilaisia malleja käyttämällä hyväksi hyvin tunnettuja numeerisia tietoja planeetan säteestä ja massasta, voiden sijainteja, pilvikerroksen yläpinnan lämpötiloja, pyörimisaikoja planeetan leveysasteen mukaan sekä spektroskooppisesti havaittua ilmakehän kemiallista koostumusta.

Puolalais-norjalainen Wasiutynski on esittänyt mallin, joka parhaiten vastaa havaittuja ilmiöitä. Tämän mallin mukaan Jupiterin ilmakehän yleinen virtaus on seuraava: planeetan sisältä peräisin oleva lämpö on varastoituneena ilmakehän alaosassa ja muuttuu sitten turbulentsuutena näkyväksi kineettiseksi energiaksi. Viimeksi mainittu ulottuu suuresta kulmanopeudesta johtuvien meridiaanitasossa kiertävien virtojen lävitse, jotka noudattavat konvektiovirtojen mekanisme ja muodostavat ekvaattorin suuntaisia kooltaan navoille päin väheneviä soluja; kiertoliikkeiden suunnat pitkin meridiaaneja ovat vierekkäisillä soluilla vastakkaiset. Jupiterin nopean pyörimisen vuoskiitistyneestä kaasukehästä johtuu, että trooppiset solut ovat laajentuneet ja

Nopea pyöriminen -
solut venyneet



Hidas pyöriminen -
solut normaalit



Kuva 1. Jupiterin ilmakehän solut ja niiden muodostuminen

sirkumpolaariset solut yhteenpuristuneet (kuva 1).

Planeetan leveysasteen mukaan muuttuvasta solujen säteittäisen laajenemisnopeuden amplitudista voidaan päätellä, että solujen leveys kuten myös niiden laajenemisnopeus vähenee päiväntasaajalta navoilta päin, arvoon nolla asti. Tämä ilmiö liittyy läheisesti planeetan leveysasteen mukaan tapahtuviin kulmanopeuden muutoksiin. Jupiterin kulmanopeuden epäsäännöllisyys leveysasteen funktiona kasvaa päiväntasaajalta navoilta päin ja ulottuu kohti ääretöntä.

Solujen säteittäisen laajenemisnopeuden, epäsäännöllisen kulmanopeuden ja vierekkäin olevien, vastakkaisiin suuntiin pyörivien konvektiovirtausten yhdistyneet vaikutukset, jotka aiheuttavat voimakasta kitkaa solujen reunoilla samoin kuin epästabiilisuutta sekä virtojen sekoittumista, ovat pyörreliikkeen alkuna. Tällainen solujen välissä tapahtuva pyörreliike aiheuttaa Jupiterin pilvisysteemin synnyn: so. solujen akseleiden mukaan määräytyneet tummat vyöt.

Yllämainittuja pyörreliikkeitä seuraamalla imeytymiseffekti on syntynyt vertikaalisesti pitkin pyörteiden akseleja ja leviää troposfääristä kohti ylempää ilmakehää ja kuljettaa kuumaa materiaa mukanaan, joka vähitellen kylmenee ja värjäytyy toistaiseksi tuntemattomalla mekanismilla muodostaen vyöt. On selvää, että Maasta käsin voimme nähdä vain tapahtuman loppuvaiheet, so. kuuman kirkkaan materian ilmestymisen ja kehittymisen tummaksi materiaksi (kuva 2).

Tumman ja kirkkaan materian kehitys on luonteenomaista planeetan ilmakehän aktiivisuudelle. Tämän ilmiön tutkimisen ongelmat ovat seuraavat:

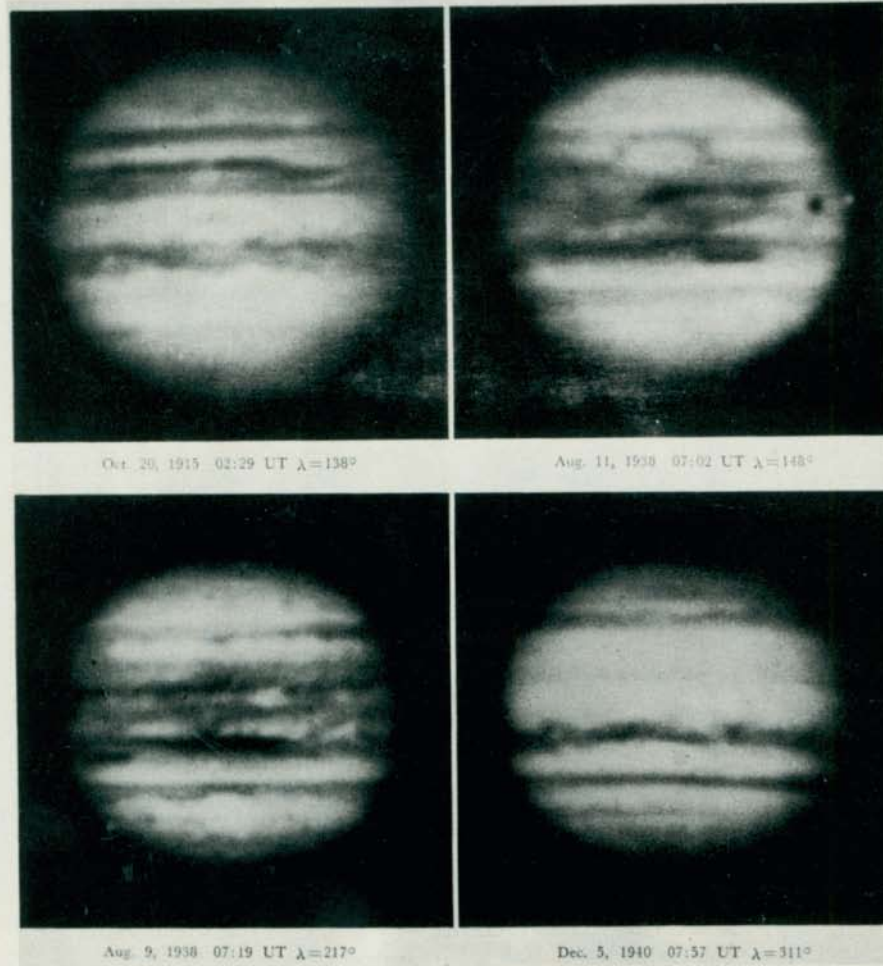
- 1) On löydettävä aktiivisuuden alkukohta, jota kuvaa kirkkaan materiapuuskan ilmestyminen. On pystyttävä laskemaan ilmakehän solujen energiat.
- 2) On löydettävä puuskien kesto aika solujen reunoilta alkavasta kirkkaan materian ilmestymisestä.
- 3) On määrättävä tummien vöiden maksimi-intensiteetin kesto aika, joka vastaa solujen maksimiaktiivisuutta.
- 4) On määrättävä aktiivisuuden vähenemisvaiheen kesto aika.

PUUSKAT

Edellä mainittunen ilmiöiden jakso alkaa sekasortoisten materiapuuskien ilmestymisenä, jotka yleensä käyttäytyvät samalla tavalla koko planeetalla. Puuskien mylläkkä alkaa navoilta ja leviää vähitellen kohti päiväntasaajaa. On huomattava, että planeetan voimakkaan ilmakehän absorption ja pienen pyörimisakselin kaltevuuden takia yksityiskohtainen ilmiöiden havaitseminen kalottialueella on vaikeata. Havaintojen tuloksista voidaan sanoa seuraavaa:

Erittäin suurella kaukoputkella otetuista valokuvista päätellen Jupiterin vaaleiden alueiden (vyöhykkeiden) vaalean kellertävä tausta muodostuu kumpumaisista pilvistä.

Puuskien alussa pilkut ovat kirkkaan valkoisia em. taustaa vasten. On selvitetty, että nämä pilkut ovat alemmista kerroksista nousevaa kuumaa materiaa. Ne näkyvät purkauksina pitkin solujen akseleita – joskus voidaan samalla havainnolla huomata useita pilkkuja. On sattunut, että osa vyöhykkeestä on kirkkaan valkoinen muutaman kymmenen kaariasteen matkan. Tarkempi tutkimus on osoittanut sen olleen kirkkaiden pilkkujen törmäyksiä, jotka ovat



Kuva 2. Neljä Jupiter-valokuvaa, joista käy ilmi planeetan vöiden eri kehitysvaiheet.

voimakkaita häiriöalueita. Häiriö, joka näkyy kirkkaina pilkkuna alkaa yhdestä tai useammasta asianomaisen solun kohdasta ja laajenee useimmissa tapauksissa planeetan pyörimissuuntaa vastakkaiseen suuntaan. Harvoissa tapauksissa häiriö etenee samalla tavalla molempiin suuntiin.

Tavallisesti kirkkaat pilkut esiintyvät 5° – 10° välein joskus joka kohdalla planeettaa solujen isolla akselilla, joko yksittäisinä, parittain tai suurempina ryhminä.

Joissakin tapauksissa muutosarja ei ole yhdensuuntainen solujen akselien kanssa. Suurin havaittu taipuma on noin 14° , jakauman tapahtuessa yleensä napoja kohti ko. puuskan ilmestymiskohdasta levinneenä planeetan pyörimisen vastaiseen suuntaan.

Nämä puuskan eri kehitystilat kuvaavat solujen vapauttaman energian homogeenisuutta.

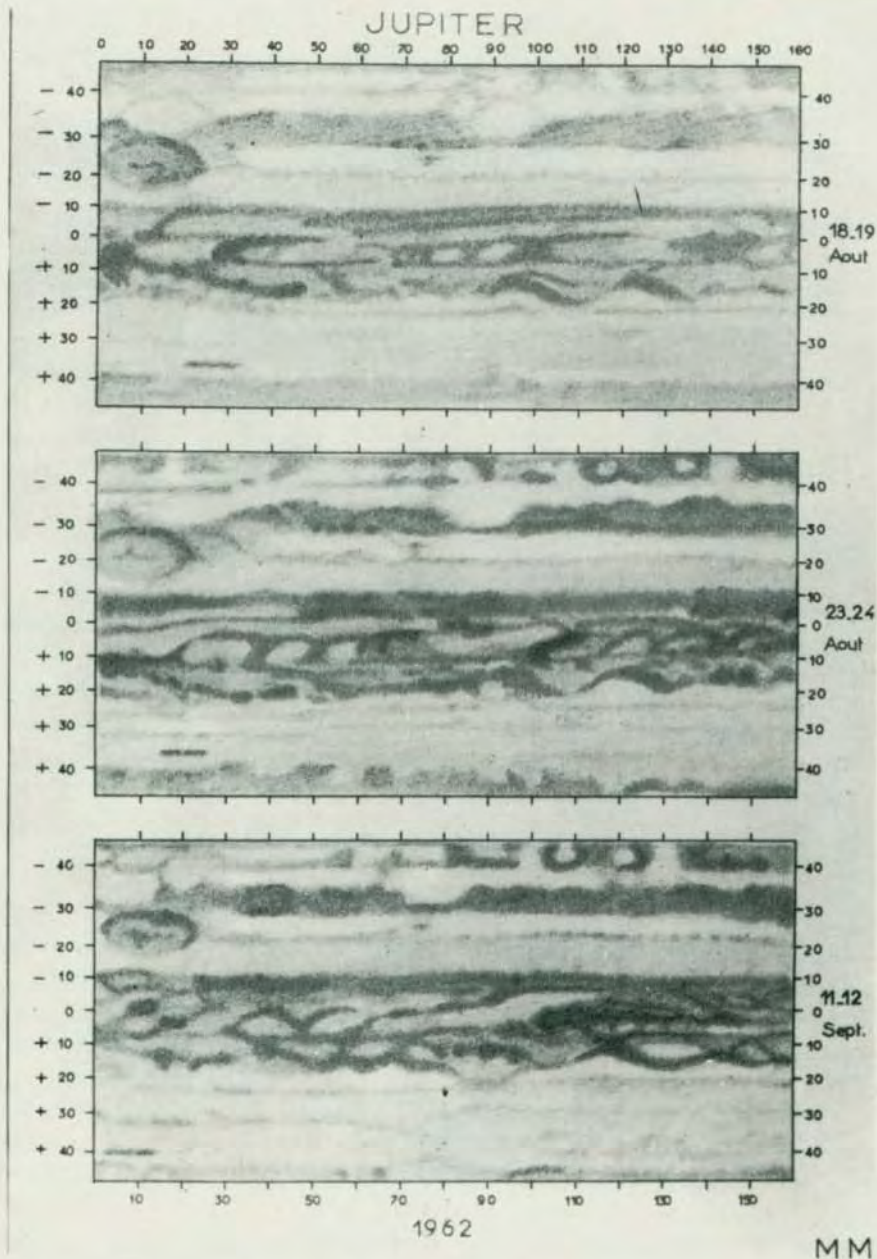
Tietyn solun puuskan kesto saattaa olla jopa 3 kuukautta. Yleensä kirkkaiden pilkkujen ilmestyminen on epäsäännöllistä.

TUMMIEN VÖIDEN MUODOSTUMINEN JA KEHITYS

Kirkkaiden pilkkujen esiintymistä häiriintyneessä alueessa seuraa tummien vierekkäisten materiamykyröiden muodostuminen. Tämän ilmiön kestoaika vaihtelee muutamasta päivästä useihin viikkoihin. Näiden mykyröiden ilmestyminen ennakoii kirkkaiden pilkkujen heikkenemistä. Tässä vaiheessa voidaan nähdä, että tummat mykyrät synnyttävät tummia harsoja, jotka leviävät kyseisen solun sisäpuolella pohjoissuuntaan pohjoisella pallonpuoliskolla ja eteläsuuntaan eteläisellä pallonpuoliskolla, jonka jälkeen mykyröiden intensiteetti heikkenee, soihdut vapautuvat, laajenevat ja ovat kauttaaltaan samanvärisiä sekä muodostavat tummat vyöt (kuva 3).

Tässä vaiheessa tummat vyöt ovat väriltään voimakkaimmillaan, jonka jälkeen niissä alkaa erottua kaikenkokoisia tummia materiamöykäleitä. Lyhyesti sanottuna läheinen yhteys aiemmin esitettyjen erilaisten ilmiöiden välillä puoltaa kuumen, kirkkaan, troposfäärin pohjalta tulevan materian muuttumista planeetan ylemmässä ilmakehässä esiintyväksi kylmäksi, tummaksi materiaksi. Ajanjakso solumaisesta kirkkaan materian ilmestymisestä täydellisesti muodostuneeseen tummaan vyöhön ei ole vuotta suurempi.

Tällä tavalla muodostuneiden vöiden kehitys on seuraava: Tummat vyöt muodostavien tummien materiamöykkyjen elinaika näyttää olevan verrannollinen niiden suuruuteen. Nämä möykkyt liikkuvat ja muuttuvat jatkuvasti. Möykkyjen kehitysmekanismi on heikosti tunnettu. Möykkyjen välit ovat väriltään harmaampia ja näiden välillä voidaan huomata rikkoutumisia, jotka ovat taipuneet napoja kohti pyörimisliikkeen vastaisesti. Tavallisesti nämä rikkoumat ovat kirkkaan valkoisia.



Kuva 3. Puuskien, möykkyjen ja harsojen kehittymistä Jupiterin võissä

Tämän võiden kehitysvaiheen aikana voidaan nõhdä joko võissä itsessään tai niiden reunõilla kirkkaiden pilkkujen ilmestymisiä, jotka aiheuttavat esilletulokohdaltaan tumman materian jakautumisen. Kapeiden tummien võiden tapauksessa voidaan seurata kirkkaan materian ilmestymistä ensiksi ko. võiden alapuolella, josta ne liikkuvat ylöspäin katkaisten vyön.

Nämä ilmiöt todistavat kirkkaan materian ylöspäinsuuntautuvaa liikettä soluissa, jota seuraa sitten Jupiterin sekasortoinen vaihe.

Siten materian vaihto planeetan alemman ja ylempään ilmakehän välillä tai ts. energian vapautuminen soluissa jatkuu tummien võiden täydellisen muodostumisen jälkeen vähintään kahden vuoden ajan. On ilmeistä, että vyöhyke- ja meridiaanivirtaukset sekä pilvisysteemin muodostuminen ja kehitys, muodostavat monimutkaisen mekanismin, jonka lainalaisuuksia ei vielä riittävästi tunneta hydrodynamiikan puolelta.

Myöhemmin kirkkaan solumaisen materian ilmestyminen tulee yhä satunnaisemmaksi ja lopulta lakkaa, tummat materiamöykkyt vapautuvat ja kuihtuvat jättäen jälkeensä intensiteetiltään vähenevän harson kahden aikaisemman vyön reunaan. Harso näyttää joko suoralta tai aaltomaiselta ja siinä on siellä täällä pieniä tummia solmuja.

Tässä aktiivisuuden vaiheessa huomataan tummien tai harmahtavien harsojen esiintyminen, joka saa alkunsa solmuista ja leviää vieressä olevaan vaaleaan vyöhykkeeseen. Tummat solmut, joista harsot syntyvät, ovat järjestyneet pituusasteen mukaan 10 – 15 asteen välein ympäri planeettaa. Harsot ovat muodoltaan kierremäisiä. Päiväntasaajavyössä ne venyvät pohjoisen päiväntasaajavyön eteläosasta yli koko vyöhykkeen. Joskus ne yltyvät eteläiseen päiväntasaajavyöhön asti ja menevät sen taakse. Niiden kaltevuus on n. 45° päiväntasaajaan nõhden ja suunta vastakkainen pyörimisliikkeelle. Tavallisesti ne näyttävät seuraavan päiväntasaaja-alueen pyörimisnopeutta.

Havainnot osoittavat, että harsot yltyvät korkeammalle kuin vyöt ja niitä voidaan nõhdä liikkuvan tummien muodostumien yläpuolella. Harsot ovat edelleen muodostuneet erillisistä möykkyistä tummaa tai harmahtavaa materiaa ja leviävät vaaleissa vyöhykkeissä syntyneiden kirkkaiden pilkkujen läheisyyteen, jotka imevät niitä puoleensa. Näissä tapauksissa harsot pyöriivät ja liikkuvat kirkkaiden pilkkujen ympäri. Harsojen kehitys on melko hidas, niiden elin aika on muutamasta päivästä kolmeen kuukauteen. Joskus ne pysyvät ylempässä ilmakehässä solmujen katoamisen jälkeenkin, joista ne näyttävät saavan alkunsa. Harsot, jotka ovat jo haalistuneet voivat kuitenkin tummaa uudelleen aivan kuin ne ajoittain saisivat energiaansa sisältäpäin. Nämä kehitystilat ovat samoja koko planeetalle ja osoittavat solujen aktiivisuuden heikkenemistä, jonka jälkeen vyöt haalistuvat melkein täydellisesti. Joskus kuitenkin joitakin heikkoja komponentteja yltyä seuraavaan jaksoon asti. Võiden paikat täyttää vaalean keltainen cumulus-pilvien kaltainen materia ja

häiriö lakkaa. Ilmiöiden kokonaiskesto, voiden kehitymisestä niiden häipymiseen, vaihtelee 4:n ja 5:n vuoden välillä. Edesmenneen kreikkalais-ranskalaisen tähtitieteilijän J.H. Focasin, (jonka Jupiteria koskevat tutkimukset sekä niiden tulokset ovat olleet tämän kirjoittajan käytettävissä ja tämän kirjoituksen perustana) fotometriset mittaukset Jupiter-valokuvista yli 50-vuoden ajalta osoittavat planeetan kirkkaiden vyöhykkeiden intensiteetissä vaihteluja, mikä on päinvastainen tumman materian intensiteetille. Koska tummat vyöt tulevat yhä heikommiksi, vaaleat vyöhykkeet samentuvat erityisesti voiden läheisyydessä. Tämä huomattava ilmiö voidaan selittää voiden tumman materian sekoittumisena reunavyöhykkeisiin.

Ilmakehän meridiaanivirtauksen aiheuttamien muiden virtausten takia on äärimmäisen vaikeata saada täsmällisiä fotometrisia tietoja heikoista intensiteetin vaihteluista yössä ja vyöhykkeissä, koska valitettavasti liian monista Jupiter-valokuvista fotometrinen kalibrointi on puuttunut tykkäänään. Tällä hetkellä olemassa olevat valokuvaukselliset suureet perustuvat vaalean vyöhykkeen kirkkaimpaan kohtaan, joka kuitenkin saattaa vaihdella vuodesta toiseen aiheuttaen tietyn epämääräisyyden mittaustuloksiin. Kaikesta huolimatta voidaan tehdä joitakin likimääräistyksiä valokuvia tutkimalla, esim. antamalla tälle näennäinen prosenttinen suuruus (yleensä ei kuitenkaan enempää kuin 20 – 30 %) näennäisestä tummat vyöt muodostavasta kokonaismäärästä. Alueittaiset polarimetriset tutkimukset osoittavat, että polarisoituneen valon määrä muuttuu tummissa yössä vaaleiden voiden suhteen aktiivisuusjakson aikana. Tämä voidaan selittää joko kemiallisen kokoomuksen ja mikroskooppisen rakenteen muuttumisena tummissa yössä tahi ilmakehän kerroksen paksuuden kasvamisena voiden yläpuolella tumman materian ylöspäinliikkumisen takia. Toisaalta vastaavanlainen tutkimus Jupiterin tummien voiden leveysastesijainnista ja niiden intensiteetin vaihteluista osoittaa, että nämä kaksi ilmiötä näyttävät tapahtuvan saman jakson mukaisesti. Näin havaitaan, että tummien voiden ulommainen sijainti leveysasteen suhteen vastaa yleisesti intensiteetin minimi- tai maksimikohtaa. Tämä voidaan selittää solujen pyörimisenä meridiaanivirtauksen takia, jolloin solut kuljettavat tummaa materiaa kohti ilmakehän alaosa.

Yhteenvetona yksittäisten solujen aktiivisuusjakson loppuvaiheesta voidaan mainita, että tumma materia on osaltaan sekoittunut ilmakehän ylemmissä kerroksissa ja osaltaan näyttää seuraavan meridiaanivirtauksen aiheuttamaa alaspäin suuntautuvaa liikettä. Tämän jokseenkin säännöllisen tumman materian muutoksen ohella solujen aktiivisuusjakson loppuvaiheen aikana päiväntasaajavyöhykkeen intensiteetti käyttäytyy omituisesti vaaleiden voiden ja vyöhykkeiden välillä, kun sekoittunut tumma materia lopullisesti peittää kahden päiväntasaajavyön välisen tilan aiheuttaen päiväntasaajavyöhykkeen kanssa yhden ainoan yön. Tämän intensiteetti on pienempi kuin

päiväntasaajavöiden, kun ne saavuttavat maksimi-intensiteettinsä sekasortoisen vaiheen jälkeen. Tämän ilmiön mekanisme ei tunneta. Yleensä voidaan päiväntasaajavyöhykkeen vaalean materian havaita muuttuneen tummaksi materiaksi, joka muodostuu harsoista ja möykyistä ja jotka lopuksi kehittyvät vyöhykkeen peittäväksi hunnuksi. On huomattava, että hunnun tiheys ja väri vaihtelevat. Näyttää siltä, että päiväntasaajavyöhykkeen aktiivisuusjakso liittyy tumman päiväntasaajavyön muuttuvaan aktiivisuuteen. Tämän aktiivisuuden intensiteetti muuttuu tapauksesta toiseen.

LISIÄ NAPAPIIRIEN LIIKKEISIIN

Erkki Kääriäinen

Tämän artikkelin kirjoittaja on Ursan julkaisussa ”Tähtitiedettä harrastajille III”, s. 77–82, v. 1954 sekä sanoin että piirroksin kuvaillut napapiirien liikkeitä vuosina 1950–1969. Kun tuo aika on nyt jo takana, ja mainitut liikkeet ovat jossain määrin herättäneet niin ursalaisten kuin ulkopuolistenkin mielenkiintoa, lienee paikallaan nyt tilaisuuden tullen esittää jatkoa mainittuun kirjoitukseen. Niinpä tässä artikkelissa esitetään napapiirien liikkeet vuodesta 1970 aina vuosisadan loppuun saakka. Kun käytetyt kaavat ja laskumenetelmät ovat samat kuin edellisessä kirjoituksessa, ei niitä tässä toisteta. Uutta lukijaa varten lienee kuitenkin tarpeen kerrata eräitä perusasioita.

Napapiirien paikan maanpinnalla määrää kahden astronomisen perustason, ekvaattorin ja ekliptikan keskinäinen asema. Ekvaattoritasohan kulkee Maan keskipisteen kautta ja on kohtisuorassa taivaanakselia vastaan. Maanpinnalla se on siten isoympyrä, jonka kulmaetäisyys Maan molemmista navoista on 90° . Ekliptika taas on se taso, jossa Maa kiertää Auringon ympäri eli toisin sanoen se isoympyrä, jonka Auringon keskipiste Maasta katsoen näyttää piirtävän vuoden kuluessa tähtiin nähden lännestä itään. Näiden kahden perustason välistä kulmaa kutsutaan ekliptikan kaltevuudeksi ja sen suuruus on nykyisin n. $23^\circ 26' 5''$. Tämä kulmasuureen avulla napapiirit määritetään niiksi kahdeksi ekvaattorin suuntaiseksi paralleelipiiriksi, joiden kulmaetäisyys Maan navoista on yhtä kuin edellämainittu ekliptikan kaltevuus. Tästä seuraa se napapiirien yleisimmin tunnettu ominaisuus, että niiden rajoittamilla napa-alueilla Aurinko on keskikesällä horisontin yläpuolella keskiyönkin aikana ja keskitalvella vastaavasti pysyy tietyn ajan kokonaan näkymättömissä.

Ekliptikan kaltevuus ei kuitenkaan ole vakio, vaan monien varsin pitkäaikaistenkin jaksollisten muutosten alainen. Syynä näihin jaksollisiin muutoksiin ovat Auringon, Kuun ja planeettojen vetovoimien vaikutukset navoiltaan litistyneeseen maapalloomme. Tästä seuraa, etteivät napapiiritkään ole maanpinnalla kiinteitä ympyröitä, vaan ovat jatkuvassa liikkeessä liikkeen pääsuunnan ollessa navoille päin, koska ekliptikan kaltevuus on nykyisin pienenevässä.

Tarkastelkaamme oheisia piirroksia 2, 3 ja 4, joissa napapiirien leveysaste on esitetty ajasta riippuvana. Piirroksat 2 ja 3 esittävät liikkeet yksityiskohtaisesti vuosina 1975 ja 1976 ja kuva 4 vastaavat liikkeet hieman pyöristetympin vuosille 1970–2000. Laskutarkkuus on kuvissa 2 ja 3 $\pm 0'' 01$ ja kuvassa 4 $\pm 0'' 1$. Kun napapiirin tienoilla $1'' = 30,978$ m, ovat vastaavat metriset tarkkuudet $\pm 0,3$ m ja ± 3 m, joka viimeksimainittu luku vastaa

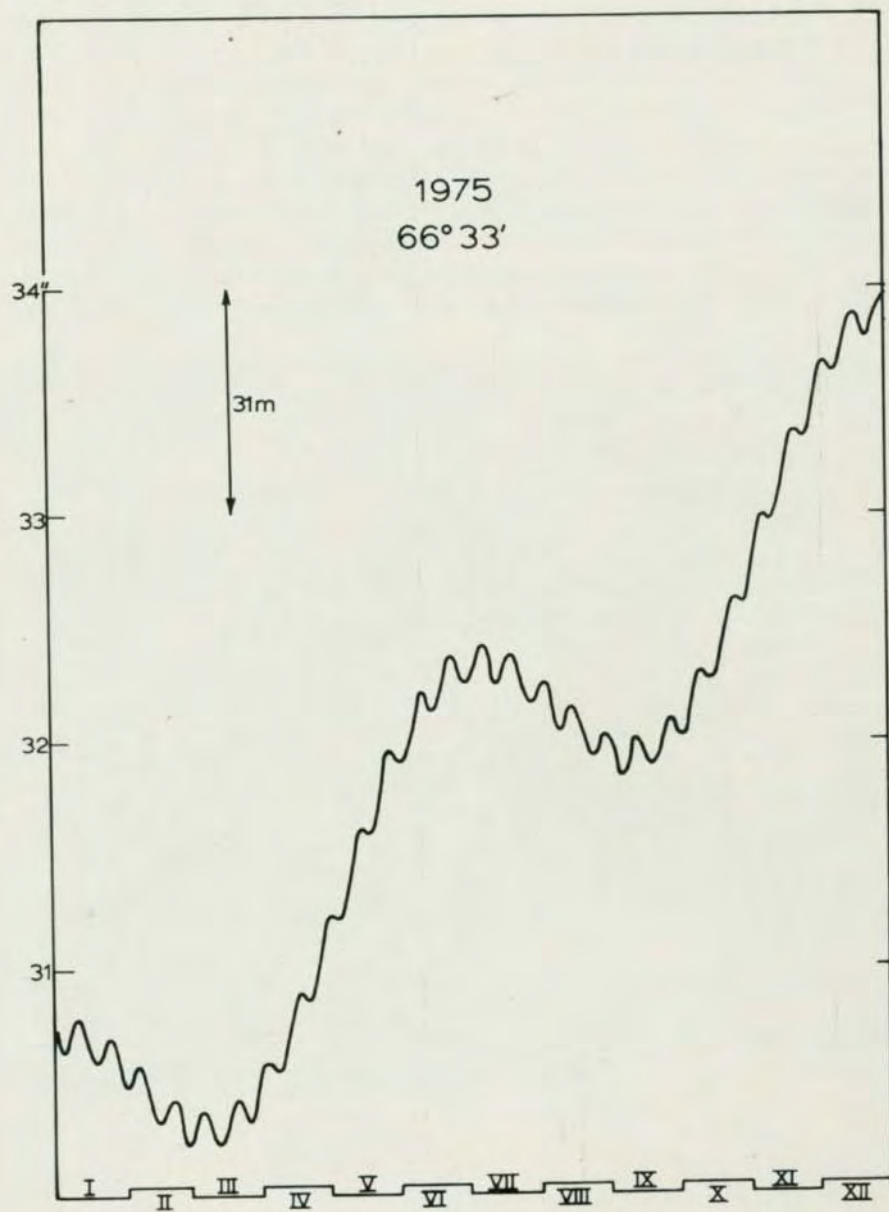
nykyisten astronomisten paikanmääritysten tarkkuutta maanpinnalla.

Mainittuun tarkkuuteen pyrittäessä joudumme ottamaan huomioon neljä erilaista jaksollista liikettä eli komponenttia. Ne kaikki tapahtuvat samanaikaisesti ja toisistaan riippumatta ja niiden yhteisvaikutuksesta muodostuu lopullinen resultanttiliike.

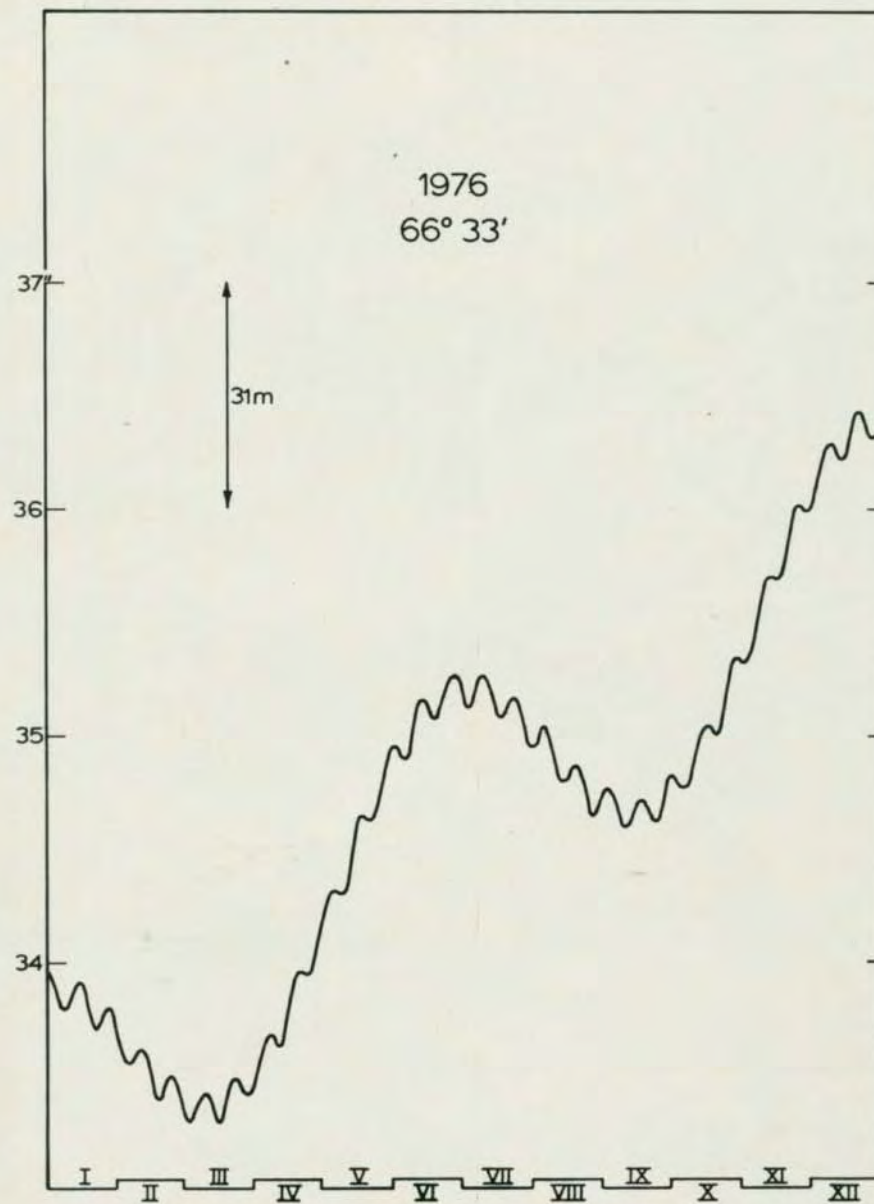
Näistä eri liikkeistä on mielenkiintoisin, mutta samalla valitettavasti vähiten tunnettu, napapiirien pitkäjaksoisin, sekulaarinen liike. Nykyisin käytettävissä olevan havaintomateriaalin turvin sen jakson pituutta enempiä kuin heilahdustaa juuttakaan ei ole kyetty tarkkaan selvittämään. Joka tapauksessa on kysymys useita kymmeniä tuhansia vuosia pitkästä jaksosta, jonka kuluessa esim. pohjoinen napapiiri eräiden arvioiden mukaan heilahtaisi kerran Kemini ja Utsjoen välisellä alueella edestakaisin. Keskiasema olisi silloin Muonion tienoilla, jota kohti pohjoinen napapiiri nykyisin siis on pyrkimässä. Tämän



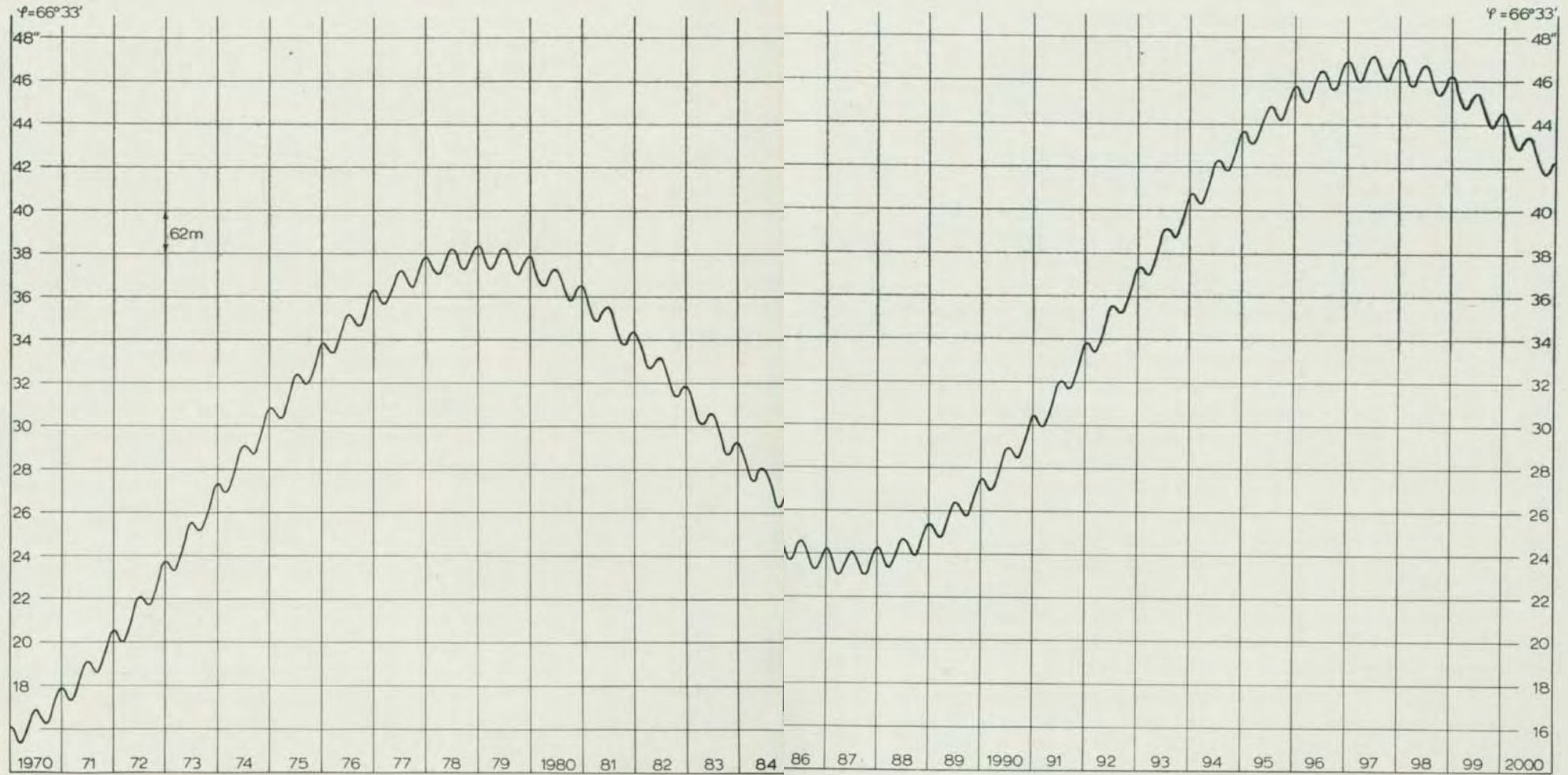
Kuva 1. Napapiirin maja Rovaniemellä.



Kuva 2



Kuva 3



Kuva 4

jakson vuotuisen siirtymisen määrää voidaan siten pitää vakiona varsin pitkän ajan kuluessa. Se tunnetaan nykyään hyvinkin tarkasti ja on kaarimitassa $0^{\circ}47'06''$ eli 14.58 m vuodessa napoja kohti. Tämän liikkeen vaikutus ilmenee piirroksissa siten, että lyhyempijaksoisissa liikkeissä napapiirin asema jakson lopulla jää, pienintä, kuvissa 2 ja 3 esiintyvää jaksoa lukuunottamatta, aina pohjoisemmaksi kuin mitä se oli jakson alussa.

Kuun solmuviivan kierrosta johtuu seuraava pienempi jakso, joka näkyy selvästi kuvassa 4. Jakson pituus on 18.613 vuotta eli 18 v 7 kk 10.6 vrk ja sen amplitudi eli heilahduslaajuus on $18^{\circ}4'$ eli 570 metriä. Yksin vaikuttaessaan se siis siirtäisi napapiiriä n. 570 metriä 9.3 vuodessa yhteen suuntaan ja saman verran takaisin yhtä pitkässä ajassa. Sekulaarisen liikkeen johdosta liike pohjoiseen on kuitenkin $570 + 135 = 705$ metriä ja vastaavasti etelään $570 - 135 = 435$ metriä. Näin ollen napapiiri jää jokaisen tällaisen jakson jälkeen 270 metriä alkuasemaansa pohjoisemmaksi.

Seuraavan jakson pienenevään suuntaan määrää Auringon pituus radassaan ja jakso on siten puoli vuotta. Liikkeen amplitudi on $1^{\circ}1'$ eli 34 metriä. Kunkin vuoden aikana tapahtuu siten kaksi heilahdusta, jotka näkyvät kaikissa piirroksissa 2–4. Yksin vaikuttaessaan se siis siirtäisi napapiiriä 3 kk:n ajan 34 metriä samaan suuntaan ja vastaavasti saman ajan kuluessa takaisin saman määrän.

Kuun kuukautinen kierto Maan ympäri aiheuttaa vain kuvioissa 2 ja 3 esitetyn pienimmän jakson. Sen pituus on siis kaksi viikkoa ja heilahduslaajuus n. $0^{\circ}1'$ eli 3 metriä. Tässä jaksossa liike on yllättävän nopeaa nousten parhaimmillaan 1.9 metriin vuorokaudessa. Näin on laita esim. vuoden 1975 huhti-, touko-, loka- ja marraskuussa, kuten piirroksista on nähtävissä. Siitä todetaan myös, että esim. vuoden 1975 minimi sattuvat $13.3.$ ja $7.9.$ ja ovat $66^{\circ}33'30''.22$ ja $66^{\circ}33'31''.84$ ja vastaavasti maksimit $8.7.$ ja toinen hieman vuoden 1976 puolella eli $1.1.$ ja ovat $66^{\circ}33'32''.42$ sekä $66^{\circ}33'33''.96$. Siirtymiset minimistä maksimiin ovat siten puolivuositain v. 1975 68.2 m ja 65.7 m sekä v. 1976 61.4 m ja 57.0 m. Kun vuoden jälkipuoliskon alussa aina tapahtuu taantumusta, jää siirtyminen pohjoiseen v. 1975 aikana 101.7 metriksi ja v. 1976 74.8 metriksi. Vuotuisen siirtymisen määrä onkin lähivuosina pienenevässä ja oli nopeinta vuosina 1973–1975.

Selvimmän liikkeen suurpiirteinen kulku on nähtävissä piirroksista 4. Viimeisin minimi 18.6 vuoden jaksossa sattui syyskuussa 1968 ja oli $66^{\circ}33'14''.3$. Seuraava maksimi sattuu vuoden 1978 lopulla ollen $66^{\circ}33'38''.4$, siirtyminen pohjoiseen tämän ajan kuluessa on siten 747 metriä. Seuraava minimi sattuu maaliskuun alkuun 1987 ja on $66^{\circ}33'23''.0$, joka merkitsee siirtymistä etelään 477 metriä edellisestä maksimista. Edelleen seuraava maksimi on kesäkuussa 1997, $66^{\circ}33'47''.1$, siirtymä pohjoiseen edellisestä minimistä on jälleen 747 metriä.

Kuten tiedämme, on napapiirille Rovaniemen pohjoispuolella rakennettu valtatie viereen maja postikonttoreineen. Se on suosittu retkeily- ja valokuvauskohde, jota kuva 1 esittää. Onko tämä maja sitten oikealla paikalla? Silmäys kartalle osoittaa, ettei näin ole laita, vaan maja sijaitsee liiaksi etelässä, paikalla, minkä napapiiri viimeksi ohitti v. 1887. Olisikohan napapiirin maja varustettava pyörillä, jotta se ehkä kerran vuodessa olisi siirrettävissä oikealle paikalleen! Tässä muutamia lukuja siirtämisen helpottamiseksi. Napapiiri sijaitsi v. 1975 alussa 1690 metriä majaa pohjoisempana ja v. 1976 alussa se on 1790 metriä pohjoisempana. Maksimin aikana joulukuussa 1978 on majalta matkaa napapiirille 1928 metriä, minimin aikana maaliskuussa 1987 1452 metriä ja maksimin aikana kesäkuussa 1997 jo 2200 metriä.

GALILEO GALILEIN ”TÄHTIMAILMAN SANANSAATTAJA”

Raimo Lehti

1. Taistelevat maailmankuvat

1600-luvun alkuun mennessä oli tähtitieteessä päädytty tuloksiin, jotka järkyttivät pelottavalla tavalla vallassa olevaa maailmankuvaa. Sukupolvia kestänyt ja yleisesti hyväksi koettu käsitys maailmanjärjestyksestä rakoili ja horjui.

Vallitsevan käsityksen mukaan Maa oli maailmankaikkeuden liikkumaton ja turvallinen keskus. Jokapäiväinen kokemus osoitti, että Maan pinta oli monenlaisten vaihteluiden ja muutosten alainen. Täällä kukat, linnut, kalat syntyivät, elivät aikansa ja kuihtuivat sitten pois, ja samoja latuja kulki ihmisenkin maanpäällinen vaellus. Maan pinnalla ei mikään ollut pysyvää eikä siis vallitsevan käsityksen mukaan myöskään todella arvokasta.

Maata ympäröivä tähtimaailma teki – ja tekee edelleenkin – havaitsijaan laadullisesti toisenlaisen vaikutelman. Tähdet eivät näytä tunnevan syntymää, kuolemaa, eivät kasvuja eivätkä kuihtumista. Kuu, Aurinko ja planeetat kiertävät vuosisadasta toiseen vankkumatonta kulkuaan. Niiden iankaikkinen samana pysyvyys tarjosi jyrkän vastakohdan maanpinnan monimuotoiselle ja rönsyilevälle mutta ylen lyhytaikaiselle elämälle.

Tähtimaailman ja maanpäällisen maailman välisen ylipääsemättömän laadullisen eron oli perinteellinen kosmologia hyväksynyt yhdeksi oppinsa kulmakivistä. Näin tehdessään se hyväksyi oikeaksi ihmisten yleisesti totena pitämän välittömään havaintoon perustuvan kokemustositian. Kreikkalainen filosofi Aristoteles oli kehittänyt pisimmälle arkipäivän havainnoista keräytyvän kokemustiedon systematisoimisen. Vuoden 1600 vaiheilla oli Aristoteleen auktoriteetti vielä melko kiistämätön. Sen äärimmäisenä ilmenemismuotona oli sellaisen jäykistyneen ”koulutiedon” ihannoiminen, joka etsi jokaiseen ulkomaailman olemusta koskevaan kysymykseen vastausta pikemmin Aristoteleen teoksista kuin uusien havaintojen teosta.

Aristoteleen oppeihin oli kristillinen kirkko antanut vuosisatojen mittaan oman lisävärinsä. Maanpäällisen elämän lyhyyttä ja vaivanalaisuutta pidettiin osoituksena sen arvottomuudesta ja turhuudesta. Tähtitaivaan pysyvyys ja kirkkaus tuntui osoittavan, että sitä oli pidettävä kaiken hyvän ja arvokkaan tyssijana. Tähtimaailma korotettiin täten sellaiseen arvoon ja asemaan, että sen todellisuuden selvittäminen ei voinut olla maanpäällisiä asioita tutkivan ihmisjärjen asia. Maanpäällisen havaitsijan mahdollisuuksien rajoihin jäi tämän näkemyksen mukaan vain taivaankappaleiden liikkeiden kuvaileminen erilaisten

geometristen kuvitelmiin avulla. Mitenkään ihmeellistä ei ollut, vaikka jotkin järjestelmän yksityiskohdat jäivätkin hämärän peittoon. Nämä voitiin huoletta jättää spesialistien asiaksi: tähtitieteilijät väitelköt siitä, minkä muotoisia ja miten sijoitettuja rattaita tarvittaisiin kunkin taivaan pallonkuoren kuljettamiseksi. Filosofille ja ei-tähtitieteilijälle yleensäkin riitti systeemin perusrakenteen ymmärtäminen.

1500-luvulla oli tilanne ruvennut muuttumaan. Tähtitieteilijät rupesivat käyttäytymään tuiki moittivalla tavalla. Enää ei tyydytty näpertelemään hyväksytyyn maailmanjärjestelmän yksityiskohtien parissa, vaan esitettiin käsityksiä, joiden mukaan vallitsevan maailmanjärjestelmän tähtitieteellinen tausta olisi läpikotaisin väärä.

Mullistuksen oli alkanut ermlantilainen kaniikki Nikolaus Kopernikus. Hän oli esittänyt v. 1543 ilmestyneessä taivaankehien kiertoliikettä käsittelevässä kirjassaan ”De Revolutionibus Orbium Coelestium Libri sex”, että maailman liikkumaton keskus ei olekaan Maa vaan Aurinko. Maa vuorostaan on planeetta, joka toisten planeettain seurassa kiertää Auringon ympäri. Oli selvää, että oppi uhkasi täysin romuttaa perinteellisen käsityksen Maan ja taivaan välisestä syvällisestä erosta. Tähän eroon oli vuosisatojen mittaan punoutunut niin monia kokonaan tähtitieteestä riippumattomia ajatuskuvioita, että asia ei voinut pysyä vain tähtitieteilijöiden yksityisasiana.

Kopernikuksen ajatukset eivät saaneet edes kaikkia tähtitieteilijöitä puolelleen – aluksi eivät edes tähtitieteilijöiden enemmistöä. Esimerkiksi 1500-luvun huomattavin havaitseva tähtitieteilijä, tanskalainen Tyko Brahe, ei pitänyt oikeana käsitystä Aurinkoa kiertävästä Maasta. Hän esitti Maan liikkumista vastaan samat osittain fysikaaliset, osittain tähtitieteelliset argumentit, jotka tunnettiin jo Ptolemaioksen teoksista. Fysikaaliset argumentit perustuvat ajatukseen, että Maan pyörimisliikkeen tulisi aiheuttaa Maan pinnalla välittömästi havaittavia ilmiöitä: kivet eivät putoaisi suoraan alaspäin, ilmakehässä olisi jatkuva myrsky, vesi ei merissä pysyisi aloillaan. Tieteellisesti merkittävin osa tämän kertomuksen sankarin, Galileo Galilein, elämäntyöstä, kului näiden liikeopillisten argumenttien kumoamiseen ja liikkeen suhteellisuudesta lähtevän dynamiikan perusteiden laskemiseen. Tätä puolta Galilein tieteellisestä työstä emme seuraavassa käsittele. – Painavin havaitsevasta tähtitieteestä nouseva Kopernikuksen vastainen argumentti oli se, että kiintotähtien asemassa taivaanpallolla ei havaittu mitään vuotuisia heilahduksia, jollaisten täytyisi olla Maan kiertoliikkeen seurauksia.

Kopernikustakin jyrkemmin. Hän oli osoittanut tähtitaivaalle v. 1572 syntyneen uuden tähden olevan todella ”kiintotähtien pallonkuoreen” kuuluvan taivaankappaleen, joten käsitys tähtimaailman muuttumattomuudesta oli väärä. Muuttumattoman taivaallisen maailman sortumista täydensi se, että samanlainen ”uusi tähti” leimahti näkyviin taas kolmisenkymmentä vuotta

myöhemmin, v. 1604. — Ottaen huomioon, miten harvinaista on paljain silmin näkyvän novan tai supernovan leimahtaminen, on pidettävä hauskana sattumana, että nämä kaksi supernovaa ilmestyivät juuri sellaisena aikana, jolloin niillä oli poikkeuksellista kantavuutta tähtitieteellisen maailmankuvan kannalta.

Tyko Brahe oli lisäksi osoittanut, että komeetat liikkuvat planeettain tavoin ”kuunylisessä” avaruudessa. Nämäkin yht’äkkiä ilmestyvät ja yhtä arvaamattomasti katoavat merkillisyydet oli siis luettava taivaankappaleisiin kuuluviksi. Brahe osoitti vielä komeettain liikkuvan avaruudessa sellaisella tavalla, että mikäli todella olisi olemassa planeettoja kuljettavia materiaalisia pallonkuoria, kulkisi komeetta niiden puhki. Oli siis tehtävä johtopäätös, että tähtitieteilijäin käyttämät kiertävät pallonkuoret olivat vain matemaattisia apuvälineitä, joilla ei ollut todellisuudessa vastineita.

Tilannetta oli vielä pahentanut Brahen työn jatkaja Johannes Kepler. Hän oli osoittanut vääräksi ikivanhan käsityksen, jonka mukaan planeettaliikkeen tulisi olla yhdistelmä tasaisista ympyräliikkeistä. Kepler osoitti v. 1609 ilmestyneessä Mars-planeetan liikkeitä käsittelevässä kirjassaan, että planeetat liikkuvat ellipsin muotoista ratakäyrää myöten tavalla, jonka hänen nimellään sittemmin tunnetut liikelait tarkemmin määräsivät. Kepler oli vakaumuksellinen Kopernikuksen kannattaja. Hänen liikelakiensa hyväksyminen merkitsi automaattisesti, että samalla hyväksyttiin Aurinko planeettajärjestelmän kesukseksi. 1600-luvun alkupuolella oli Keplerin teosten vaikutus kuitenkin luultavasti melko vähäinen, mikä johtui osittain niiden vaikeaselkoisuudesta ja matemaattisesta raskaudesta. Galileo Galilei tuskin tunsikaikkea Keplerin sittemmin oikeiksi osoittautuneita oivalluksia, eikä tuntemiansakaan Keplerin ajatuksia yleensä ymmärtänyt eikä hyväksynyt. Seuraavassa emme tarkastele planeettaliikkeen yksityiskohtia, joten emme myöskään kommentoi eri henkilöiden siitä esittämien yksityiskohtaisten käsitysten suhteellisia ansioita tai puutteita.

Kuten edellisestä ilmenee, asettivat tähtitieteilijät 1500- ja 1600-lukujen vaihteessa perityn maailmankuvan monin tavoin kyseenalaiseksi. Kontroverssin matemaattiset argumentit liikkuivat usein niin teknisellä tasolla, että ainoastaan tähtitieteen menetelmiin syvällisesti perehtynyt henkilö saattoi itsenäisesti arvioida, mistä oli kysymys. Ei-tähtitieteilijä ymmärsi vain, että hänen oppimansa ja omaksumansa maailmankuva tahdottiin romuttaa. Kun hän halusi kuulla syyn tähän, tarjottiin hänelle roppakaupalla episyklejä, eksentreja, ellipsejä, polttopisteitä ja vuotuisia parallakseja, joista tavallinen kansalainen ei ymmärtänyt hölynpölyäkään.

2. Uskonnollisten ja poliittisten olojen vaikutus ilmapiiriin

1600-luvun alkupuoli ei ollut otollista aikaa maailmankaikkeuden olemusta koskevien väkisinkin teologisia vivahteita saavien argumenttien kiihottomalle puntaroimiselle. Henkinen ilmapiiri oli aivan tarpeeksi kiihottunut jo ilman tähtitieteilijöiden keskusteluun tuomia lisäpulmiakin. Uskonpuhdistus ja sitä seurannut vastauskonpuhdistus olivat jakaneet siihen asti kohtuullisen yhtenäisen läntisen kristikunnan kahteen toisiaan vihamielisesti kyräilevään leiriin. Uskovaiset kerättiin kukin oman tunnuslauseensa ja lippunsa alle. Tällaisessa tilanteessa oli totteleminen ja selkeisiin iskusanoihin pitäytyminen arvostetumpaa kuin asioiden itsenäinen pohdiskeleminen.

On väärä harhakuvitelma, jos luullaan, että siinä vastustuksessa ja joskus vainossakin, jota Kopernikuksen opin kannattajat saivat kestää, ilmeni jokin erityisesti keskiajalle tyypillinen piirre. Erityisesti katolinen kirkko suhtautui keskiajalla varsin vapaamielisesti maailmankaikkeuden rakennetta koskeviin spekulatioihin. Kun Kopernikuksen kannattajia — erityisesti Galileo Galileita — vastaan ruvettiin esittämään raamatullisia argumentteja, niin tämä merkitsi siirtymistä jyrkempään ja kirjaimellisempaan raamatuntulkintaan, kuin mikä oli ollut vallitsevana ennen Trenton kirkolliskokousta. Seuraavassa ei käsitellä sitä taistelua, minkä Galilei joutui käymään kirkon taholta tulevaa painostusta vastaan, eikä niitä toisaalta teologisia, toisaalta tieteen metodioppiin liittyviä argumentteja, joita hän taistelun aikana esitti. Tämän kirjoituksen aiheena olevaa teosta kirjoittaessaan ei Galilei luultavasti arvannut joutuvansa aikanaan mielipiteittensä vuoksi ristiriitaan katolisen kirkon kanssa. Ilmeisesti tämän takia teos onkin avomielisin ja vähiten poleeminen Galilein tähtitieteellisistä teoksista.

Lähteitä pykäliin 1. ja 2.: [2] luvut 3,4,10, [8] luvut 1,2,4, [9] pp. 214–266, [11] luvut 17,18,20,22,23.

3. Galilein elämänvaiheet vuoteen 1609

Fyysikko-matemaatikko-tähtitieteilijä Galileo Galilei syntyi helmikuun 15. päivänä 1564. Hänen vuoteen 1642 kestänyt elämänsä sattui keskelle edellisissä luvuissa selostettua henkistä murroskautta. Galilein elämänvaiheet muodostuivat niin dramaattisiksi, että hän yhä kiehtoo sellaistenkin ihmisten mieliä, joita tavanomaisempi tiedemiehenura ei jaksa kiinnostaa. Galileista on tullut luonnontieteiden varhaiskautta hallitseva legendaarinen marttyyrihahmo, mikä usein vaikeuttaa legendan taakse kätkeytyvän todellisuuden objektiivista arviointia.

Galileo Galilein isä, Vincenzo Galilei, kuului arvossapidettyyn

firenzeläiseen kauppiassukuun. Paremman toimeentulon toivossa perhe oli muuttanut Pinaan, missä Galileokin syntyi. Muusikkona tunnettu isä opetti pojalleen musiikkia, matematiikkaa ja piirustusta. Huolimatta perheen taloudellisista vaikeuksista järjestettiin Galileolle mahdollisuus opiskella ensin Firenzessä, sitten vuodesta 1581 alkaen Pisan yliopistossa. Vincenzio olisi halunnut pojastaan lääkäriä, mutta se tapa, miten tämän tieteen edustajat tuolloin pitäytyivät Aristoteleen ja Galenoksen teoksissa esitettyihin mielipiteisiin, vieraannutti Galileon lääketieteen opinnoista. Yliopiston filosofian ja humanististen tieteiden edustajat eivät myöskään miellyttäneet Galileoa. Suurimman vaikutuksen häneen teki Toskanan hovimatemaatikko Ostilio Ricci. Matematiikan ja sen käytännöllisten sovellutusten parissa Galilei tunsikin löytäneensä oman alansa. Vuonna 1589 Galilei rupesi luennoimaan matematiikkaa Pisan yliopistossa ja v. 1592 hänet nimitettiin saman alan professoriksi Venetsian tasavaltaan kuuluvaan Padovan yliopistoon.

Padovan yliopiston matematiikan professorina Galilei toimi 18 vuotta, siis vuoteen 1610 saakka. Näinä vuosina hän laski perustan niille näkemyksilleen, joiden esittäjänä ja esitaistelijana hän myöhemmin saavutti mainetta. Tärkeimmät hänen tutkimuksistaan koskivat mekaniikkaa, mutta tämä puoli Galilein elämäntyöstä sivuutetaan seuraavassa.

Ulkonaisesti katsoen ei Galilein asema ollut v. 1610 erityisen loistava. Olisi ollut vaikea arvata häntä erääksi Euroopan tieteen historian suurista hahmoista. Hän oli 46 vuoden ikäinen aikansa tieteellisessä maailmassa varsin huonosti tunnettu – tai aristoteelikkojen parissa hankalana riitelijänä tunnettu – henkilö. Hänen edustamansa oppiala, matematiikka, esitti vähäistä osaa silloisessa akateemisessa maailmassa. Eri tieteenalojen erilainen asema sai konkreettisen ilmauksensa professorien palkoissa. Matemaatikko Galilei oli Padovan yliopiston huonoimmin palkattuja opettajia. Yliopiston tunnettu filosofi Cremonini, jonka jälkimaailma muistaneekin lähinnä sietämättömänä pedanttina, sai yli 10-kertaisen palkan Galileihin verrattuna. Lieneekö tällä osuutta siihen, että Galileissa vahvistui näinä vuosina elinikäiseksi jäävä ivallisuus ja katkeruus senaikaista yliopistomaailmaa hallitsevia oppineita kohtaan. Suorapuheisena miehenä hän ei kätkenyt mielipiteitään vakan alle, vaan arvosteli kitkerästi virkaveljiään sekä suullisesti että lukuisissa poleemisissa kirjoitelmissa. Tällä hän vuorostaan kasvatti kaunaa kautta Italian yliopistojen. Oli tuleva aika, jolloin Galileilla oli aihetta murehtia oppineiden tai ainakin oppineen maineessa olevien vihamiestensä suurta lukumäärää.

Oman värinsä Galilein elämäntieteen näinä ratkaisevina vuosina antaa se, että hän tuli Padovassa asuessaan kolmen aviottoman lapsen isäksi. Viinistä hän myös piti.

Vuosina 1609–1610 tapahtui Galilein elämässä yllättävä muutos. Tämä miltei tuntematon matemaatikko, jolla olisi inhimillisten arvioiden mukaan

pitänyt olla aktiivisimmat vuotensa jo takanapäin, nousi yht’äkkiä tähdenlennon tavoin aikansa tieteellisten tapahtumien keskushenkilöksi. Tästä tapahtumasta olemme nyt kertomassa, mutta ennen pääasiaan pääsyä on vielä selvitettävä eräs niihin johtanut tapahtumaketju.

Lähteitä pykälään 3.: [4], [5] pp. 1–20.

4. Kaukoputken keksiminen

Jo 1500-luvulla esiintyy eräiden kirjoittajien, m.m. englantilaisen Thomas Digges’in ja italialaisen Gianbattista Portan teoksissa mainintoja, jotka voidaan tulkita jonkinlaiseksi ennakoinniksi siitä, että kombinoimalla erilaisia linsejä voitaisiin kaukana sijaitsevia esineitä saada paremmin näkyviksi. Ensimmäiset kaukoputket valmistettiin kuitenkin vasta 1600-luvun alussa Alankomaissa. Kaukoputken osuus maailmankuvan muuttumisessa 1600-luvulla oli jo aikalaisille niin ilmeistä, että tunnettiin suurta kiinnostusta kysymykseen, miten kaukoputki oli keksitty ja miten sitä oli ruvettu käyttämään tähtitaivaan tutkimiseen. Jo vuosisadan puoliväliin mennessä oli perimätietous kaukoputken keksimisen varhaisvaiheista kuitenkin ehtinyt hämärtyä hämmästyttävän sekavaksi. Asiasta esitettiin useita erilaisia kertomuksia, joiden yhteisenä piirteenä oli, että kaukoputki keksittiin miltei vahingossa, ja että tämä oli tapahtunut Hollannissa. Ranskalainen matemaatikko-filosofi René Descartes kirjoitti asiasta v. 1638 ([7] p. 517):

”Siitä on nyt noin 30 vuotta, kun eräs Jakob Metius niminen henkilö keksi katsoa kahden linssin läpi, joista toinen oli kupera ja toinen kovera. Metius ei milloinkaan ollut opiskellut mitään, vaikka hänen isänsä ja veljensä molemmat olivat matematiikan professoreita. Sen sijaan hän löysi huvitusta valmistamalla peilejä ja polttolaseja, joita hänellä oli hallussaan kaiken muotoisia. Kerran linssit sattuiivat sijaitsemaan esineiden suurentamista varten sopivalla etäisyydellä toisistaan. Tämän jälkeen Metius sijoitti ne putken päihin ja rakensi täten ensimmäisen kaukoputken”.

Schyrlaeus de Rheita esitti v. 1645 samantapaisen kertomuksen, mutta esitti keksijäksi Lippensum-nimisen miehen. Jo v. 1655 pantiin kaukoputken keksimisestä toimeen tutkimus, mutta tämä ei tuonut ratkaisua sen enempää keksijästä kuin keksimisvuodestakaan. Tässä yhteydessä W. Boreel kertoi, että Zacharias Jansen ja tämän isä olivat ensin keksineet mikroskoopin ja ”paljon myöhemmin” v. 1610 myös ”pitkän” tähtikaukoputken. Boreel väitti, että Lipperhey, jota Rheita oli kutsunut Lippensumiksi, kuului Jansenien keksinnöstä ja rupesi valmistamaan sen mukaisia kaukoputkia.

Vuonna 1831 löydettiin Haagin valtionarkistosta eräitä asiapapereita, joista ilmeni seuraavaa ([7] p. 518): 2.10.1608 oli valtioneuvostossa käsitelty Middleburgilaisen silmälasimestarin Johan Lipperheyn anomusta saada

yksinoikeus valmistaa ja myydä keksimäänsä laitetta, joka teki kaukana sijaitsevat esineet näkyviksi. Asiassa toimittiin ripeästi: laitetta kokeiltiin 4.10 ja jo 6.10. neuvosto myönsi Lipperheylle 900 floriinia instrumentin valmistamiseksi. 15.12. kokeiltiin Lipperheyn valmistamaa parannettua versiota, jonka läpi katseltiin molemmiin silmiin. Tällöin oli kaukoputken rakenne jo niin monien optikkojen tiedossa, että Lipperheylle ei voitu antaa yksinoikeutta sen valmistukseen. Jo 17.10.1608 oli Jakob Andrianzoon, joka on juuri Descartesin mainitsema Metius, lähettänyt myös anomuksen yksinoikeudesta samanlaisen instrumentin valmistamiseen. Hän mainitsee anomuksessaan, että laitteella voitiin nähdä kaukaisia esineitä ”kuten silläkin laitteella, jonka on esittänyt eräs Middleburgissa asuva silmälasintekijä”.

Jansenia ei arkiston papereissa mainita. Hänen kunniaukseen jää mahdollisesti mikroskoopin keksiminen. (Vrt. kuitenkin [11] pp. 227, 253).

Joskus on arveltu, että hollantilaiset kaukoputket olisivat olleet huomattavasti heikompia tasoltaan kuin Galileo Galilein hieman myöhemmin valmistamat kaukoputket. Varmaankin Galilei pääsi suurempiin suurennuksiin, mutta eivät hollantilaiset kaukoputketkaan mitään leikkikaluja olleet. Tätä osoittaa jo hollantilaisten viranomaisten kiinnostus näihin laitteisiin. He huomasivat heti laitteen merkityksen sodankäynnille ja yrittivätkin pysyttää sen jonkinlaisena sotasalaisuutena. Tämä yritys ei kuitenkaan onnistunut. Hollantilaiset kaukoputket levisivät nopeasti ympäri Euroopan. Saksalainen tähtitieteilijä Simon Mayr eli Marius ilmoittaa tehneensä havaintoja Hollannista hankkimallaan kaukoputkella jo v. 1609. Heinäkuussa 1609 englantilainen matemaatikko Thomas Harriot havaitsi tähtitaivasta hollantilaisella kaukoputkella. 6.2.1610 päivätyssä kirjeessä kuvailee W. Lower Harriotille Kuusta tekemiään havaintoja varsin samaan sävyyn kuin Galilei tämän kirjoituksen aiheena olevassa teoksessaan. Teoksen ilmestymisen jälkeen 6.7.1610 ilmoittaa Sir Christopher Heyden havainneensa eräitä Galilein teoksessa mainittuja ilmiöitä ”eräällä meidän tavallisista putkistamme”.

Kaukoputken keksimistä valaisseen pykälän päätteeksi sopii tähtitieteen historioitsijan Robert Grantin jo toistasataa vuotta sitten esittämä arvio ([7] pp. 524–525):

”Olen katsonut aiheelliseksi käsitellä melko laajalti hollantilaisten kaukoputkien varhaista historiaa, sillä Galilein keksintöjen hohde on ansaitsemattomasti painanut ne unohduksiin. Asiaa kaikilta puolilta tarkasteltaessa voi tasapuolisuuteen pyrkivä tuskin välttää johtopäätöstä, että vaikka mainittu filosofi ei milloinkaan olisi elänytäkään, olisi hollantilaisten kaukoputkien rakennetta ajan mittaan paranneltu, ja niitä olisi ruvettu menestyksellisesti käyttämään tieteen suurien päämäärien saavuttamiseksi. Kaukoputken alkuperäisen keksijän ansiot eivät vaikuta loistavan italialaisen maineeseen. Hänen suurenmoiset taivaan fysiikkaa koskevat keksintönsä eivät

niinkään perustu hänen hyvään onneensa kaukoputken valmistajana kuin hänen terävänäköisyyteensä luonnonilmiöiden tulkitsijana.”

5. Galileo Galilein kaukoputket

Galileo Galilei oli epäilemättä merkittävin varhaisista kaukoputken käyttäjistä tähtitieteellisiin tarkoituksiin. Aikalaistensa käyttäytymiseen verrattuna oli Galileilla eräs myöhempien aikojen tiedemiesten käyttäytymistä ennakoiva – siis ”moderni” – piirre: hän julkaisi ensimmäiset keksintönsä salamannopeasti. Ensimmäisen teoksen synnyttämä reaktio sai hänet myöhemmin varovaisemmaksi, mikä sittemmin johti ikäviin prioriteettikiistoihin muiden havaitsevien tähtitieteilijöiden kanssa.

Galilei julkaisi ensimmäiset kaukoputkella tähtitaivaasta tekemänsä havainnot jo maaliskuussa 1610, noin 10 kuukautta sen jälkeen, kun oli oman kertomuksensa mukaan ruvennut ensimmäisiä kaukoputkia rakentamaan. Tämä on syytä pitää mielessä Galilein seuraavassa esitettävää teosta arvioitaessa. **On kyseessä raportti sanan täydessä merkityksessä erään tutkimusalan ensi askeleista.**

Galilein tähtitieteellisellä esikoisteoksella on juhlava nimi. Sen kansilehden teksti kuuluu suomeksi käännettynä seuraavasti:

”Tähtimaailman sanansaattaja, joka avaa suuria, tavattomia ja merkittäviä näkymiä ja paljastaa nämä jokamiehen ja eritoten filosofien ja tähtitieteilijöiden pohdittaviksi. Nämä havaitsi Galileo Galilei, firenzeläinen herrasmies, Padovan yliopiston matematiikan professori, käyttäen välineenään keksimäänsä kaukoputkea, Kuun pinnalla, lukemattomissa kiintotähdissä ja tähtisumuissa sekä ennen kaikkea neljässä planeetassa, jotka kiertävät nopeasti Jupiteria eri etäisyyksillä ja eri kiertoajoin, ja joita ei ainoakaan tuntenut ennen kuin kirjoittaja ne vast’ikään huomasi ja päätti, että nimitettäkööt ne Medicien tähdeksi. Venetsiassa 1610.”

Siinähän on tekstiä yhden pienen kirjasen otsikoksi. Otsikosta ilmenee jo kutakuinkin tyhjentyvästi, mitä kaikkea teos sisältää. Seuraavassa tarkastellaan varsin yksityiskohtaisesti kirjan sisältöä. Esitetyt suomenkieliset kappaleet on kirjoittaja suomentanut teoksessa [3] sivuilla 21–58 olevasta englanninkielisestä käännöksestä; saksankielinen käännös on annettu teoksessa [5] sivuilla 79–131. Teos on kaiken kaikkiaan kooltaan varsin vähäinen, joten seuraavassa annetut tekstikatkelmat ovat varsin huomattava osa teoksesta kokonaisuudessaan. Teos on eräs helppolukuisimmista ja nykyaikaista lukijaa kiinnostavimmista luonnontieteiden klassikoista. On kenties erityisesti syytä muistaa, että teos on kirjoitettu ennen kuin Galileille selvisi, miten järkähtämätöntä ja katkeraa vastustusta hänen kopernikaaniset mielipiteensä herättäisivät ensin yliopisto-

SIDEREVS NUNCIUS,

MAGNA LONGEQUE ADMIRABILIA Spectacula pandens, suspiciendaque proponens unicuique, præsertim verò

PHILOSOPHIS, atque ASTRONOMIS, quæ
GALILEO GALILEO, PATRITIO
FLORENTINO, PATAVINI
Gymnafii Publico Mathematico,
PERSPICILLI

Nuper à se reperti beneficio sunt observata in LUNÆ
FACIE, FIXIS INNUMERIS;
LACTEÒ CIRCULO, STELLIS
NEBULOSIS;

Apprimè verò in

QUATUOR PLANETIS

Circa JOVIS Stellam disparibus intervallis, atque Periodis,
celeritate mirabili circumvolutis; quos, nemini in hanc
usque diem cognitos, novissimè Auctor deprehendit primus; atque

MEDICEA SIDERA
Nuncupandos decrevit.

LONDINI,
Typis Jacobi Fleisher. 1653.

Kuva 1. Sidereus Nuncius-teoksen Lontoossa v. 1653 painetun laitoksen nimiölehti. Artikkelin kuvat lukuunottamatta kuvaa 4 ovat peräisin tästä Helsingin Yliopiston Tähtitieteellisen observatorion kirjaston omistamasta kappaleesta.

piireissä, sitten kirkon piirissä, ja miten vähäistä halua kopernikanismin vastustajilla oli hyväksyä hänen havaintonsa sellaiseksi uuden kosmologian totuuden "välittömäksi näkemiseksi", jollaisena hän itse niitä piti.

Kirja alkaa Toskanan suuriruhtinaalle Cosimo II dei Medicille osoitetulla omistuksella. Galilei toivoi Cosimon nimittävän hänet omaksi hovimatemaatikokseen ja -filosofikseen. Tämä vapauttaisi Galilein yliopistoympäristöstä, jota kohtaan hän ei tuntenut sanottavaa sympatiaa. Toive toteutuikin, ja Galilei pääsi pian palaamaan rakastamaansa Firenzeen. Varsinaisessa tekstissä Galilei selostaa ensimmäiseksi, miten hän valmisti kaukoputkensa ja rupesi niillä tähtitavasta havaitsemaan. Hän kirjoittaa tästä seuraavaa ([3] pp. 28–29, [5] pp. 84–85):

"Noin kymmenen kuukautta sitten kuulin kerrottavan, että muuan flaami on konstruoinut kaukoputken, jota käyttäen näkyvät kappaleet nähdään niin selvästi, kuin jos ne olisivat aivan lähellä, vaikka ne sijaitisivat hyvinkin kaukana havaitsijanilmästä. Tästä todella ihmeellisestä ilmiöstä kerrottiin monia asioita, joita jotkut pitivät luotettavina, kun taas toiset ne kiistivät. Sain kertomukselle vahvistuksen Pariisissa asuvalta jalosukuiselta Jacques Badoverelta muutamaa päivää myöhemmin saapuneessa kirjeessä. Tämä sai minut kokonaan keskittämään ajatukseni tutkimaan mahdollisuuksia, jotka kenties johtaisivat minut samanlaisen kojeen keksimiseen. Tämän teinkin hieman myöhemmin käyttäen lähtökohtana refraktion teoriaa. Ensin valmistin lyijyputken, jonka päihin sovitin kaksi linssiä. Molemmat linssit olivat toiselta puoleltaan tasaisia, kun taas toinen puoli oli yhdessä linssissä kupera, toisessa kovera pallonpinta. Kun sitten vein koveran linssin silmäleni, näin esineet tyydyttävän suurina ja lähellä, sillä ne näyttivät olevan kolme kertaa lähempänä ja yhdeksän kertaa suurempia kuin paljain silmin nähtyinä. Seuraavaksi rakensin uuden samanlaisen, mutta tarkemman, joka näytti esineet yli 60 kertaa suurennettuina. Lopuksi enempää vaivoja kuin kulujakaan säästämättä onnistuin rakentamaan itselleni niin erinomaisen kojeen, että sillä katseltuina esineet näyttivät miltei 1000 kertaa suuremmilta ja yli 30 kertaa lähempänä olevilta kuin luonnon suomin näkökyvyin niitä tähyillessämme."

Galilei rakensi siis kesällä 1609 itselleen käyttökelpoisen kaukoputken – tosin se ei nykyistä terminologiaa käyttäen ollut 1000 vaan noin 30 kertaa suurentava. Noin 30-kertainen suurennus olikin raja, jota ei kyetty ylittämään ennen akromaattisen linssin keksimistä. Galilei esitteli kaukoputkensa Venetsian senaatille ja Dogi Leonardo Deodatille. Dogi ihastui suuresti tästä merenkululle ja erityisesti merellä tapahtuvalle sodankäynnille hyödyllisestä instrumentista. Venetsian senaatti palkitsi Galilein nimittämällä hänet Padovan yliopiston elinikäiseksi professoriksi ja korottamalla hänen palkkansa

kolminkertaiseksi. Tästä huolimatta ei Galilei enää kauaa pysynyt Padovan yliopistossa.

Galileita ei voi pitää – eikä nykyään pidetäkään – kaukoputken itsenäisenä keksijänä. Ensiksikin Galilei tiesi jo kertomusten perusteella, millainen laite hollantilainen kaukoputki oli, ja tämän lisäksi oli kesään 1609 mennessä hollantilaisia kaukoputkia jo kulkeutunut Italiaankin ([7] p. 522). Jo toukokuussa 1609 tarjosi joku ranskalainen Milanossa kaukoputkea myytäväksi. 31.8.1609 kirjoittaa Lorenzo Pignoria Paolo Gualdolle, että Galilei on nimitetty Padovan yliopistoon samanlaisen kojeen takia ”jollainen on se, mikä Flanderista lähetettiin kardinaali Borgheselle”. Jotkut ovat esittäneet, että Galilei olisi nähnyt jonkin näistä Italiaan joutuneista kaukoputkista, mutta itse hän on kirjeissään maininnut, että hän ei kaukoputkea rakentaessaan edes omannut yksityiskohtaista tietoa hollantilaisten kaukoputkien rakenteesta. – Mikä lieneekin ollut Galilein itsenäinen osuus kaukoputkea kehittävässä optikkona, Galilein asemaan havaitsevana tähtitieteilijänä tämä ei juuri vaikuta.

Talven 1609–1610 kuluessa Galilei teki kaukoputkillaan havaintoja Kuusta, kiintotähdistä ja Jupiterin satelliiteista. Valaisimme näitä havaintoja ja Galilein niistä tekemiä johtopäätöksiä katkelmilla teoksesta ”Tähtimaailman Sanansaattaja” eli ”Sidereus Nuncius”.

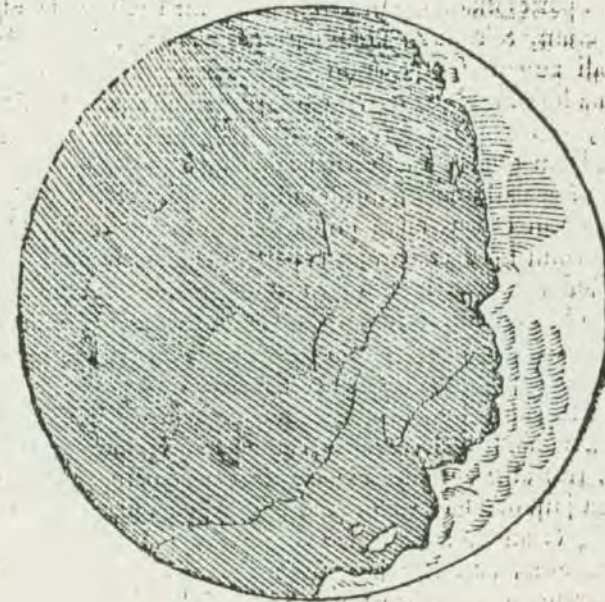
6. Galilein havainnot Kuusta

Ensimmäiseksi Galilei selostaa Kuun pinnasta tekemiään havaintoja. Selostus Kuun pinnasta esittää Sidereus Nunciuksessa erittäin tärkeää osaa, sillä kuuhavainnoista Galilei löytää tukea keskeiselle väitteelleen: taivaankappaleiden ja Maan välillä ei ole mitään olemuksellista eroa, vaan Maa on ”tähti” samassa mielessä kuin planeetat ja Kuu. Seuraavassa esitetty teksti ([3] pp. 31–33, [5] pp. 87–90) on historiallisesti yhtä tärkeä sekä kosmologin että amatööritähtitieteilijän kannalta. Edellinen näkee siinä uuden kosmologisen näkemyksen läpimurron, jälkimmäinen lähtölaukauksen Kuun pinnan topografian tutkimiselle.

”Tarkastelkaamme nyt viimeisen kahden kuukauden aikana tekemiäni havaintoja. Pyydän kaikkia todellisen filosofian ystäviä kiinnittämään tarkkaavaisuutensa näiden merkittävien pohdintojen ensi askeliin. Ensimmäiseksi kerromme Kuun meitä kohti kääntyneestä pinnasta. Suuremman selvyuden vuoksi erotan kaksi tämän pinnan osaa: vaaleamman ja tummemman. Vaaleampi osa näyttää ympäröivän koko pallonpuoliskoa ja leviävän sen yli, kun taas tummempi verhoaa Kuun pinnan eräänlaisen pilven tavoin ja saa sen näyttämään läikikkäältä. Kaikki tuntevat eräät melko tummat ja koko laajat läikät; ne on nähty aikojen alusta asti. Kutsun näitä ”suuriksi” tai ”vanhoiksi”

läikiksi ja erotan ne täten toisista, jotka ovat kooltaan pienempiä mutta niin lukuisia, että niitä esiintyy yli koko Kuun pinnan, eritoten sen vaaleammassa osissa. Jälkimmäisiä läikkiä ei ole ainoakaan nähnyt ennen minua. Havaitessani toistuvasti näitä läikkiä olen johtunut mielipiteeseen ja vakaumukseen, että Kuun pinta ei ole sileä, tasainen eikä täsmälleen pallonmuotoinen, kuten monet filosofit uskovat sen ja muiden taivaankappaleiden olevan, vaan se on epätasainen, karkea ja täynnään onkaloita ja kärkiä, joten se muistuttaa Maan vuoriketjujen ja syvien laaksojen uurtamia kasvoja. Näkemäni ilmiöt, joiden perusteella olen pystynyt tekemään tämän johtopäätöksen, ovat seuraavat:

Neljäntenä tai viidentenä päivänä uudenkuun jälkeen Kuun näkyessä loistavana sirpinä ei pimeää ja valaistua osaa erottava raja ole säännöllinen soikio, kuten sen tulisi täysin pallonmuotoisen kappaleen pinnalla olla. Sen sijaan raja piirtää hypähtelevän, katkonaisen ja hyvin mutkaisen viivan, kuten allaolevasta kuviosta (kuva 2) näemme. Monet valoisat kielekkeet ulottuvat toden teolla rajaviivan yli pimennon puolelle ja toisaalta pimeys pitää hallussaan muutamia valaistun alueen täpliä. Lukuunottamatta sitä osaa, minkä suuret ja vanhat läikät täyttävät, on yli miltei koko Auringon valaiseman alueen siroteltu suuri määrä pieniä tummasta alueesta aivan eristettyjä pilkkuja.



Kuva 2. Valon ja varjon raja Kuun pinnalla Galilein piirtämänä.

Huomatkaamme vielä, että mainitut pienet pilkut yhdenmukaisesti aina kääntävät mustimman puolensa Aurinkoa kohti, kun taas niiden Auringon vastaista puolta koristaa kirkas kimaltelevan harjan kaltainen reunus. Samanlaisen ilmiön näemme maanpinnalla auringonnousun aikaan. Tällöin näemme laaksojen vielä olevan päivänvalon tavoittamattomissa, vaikka niitä ympäröivien vuorien Aurinkoa kohti kääntyneet rinteet jo sädehtivät loimuavien liekkien tavoin. Aivan samoin kuin maanpinnan painanteista varjot väistyvät Auringon noustessa korkeammalle, vaalenevat Kuunkin täplät, kun valaistu alue edelleen laajenee.

Lisättäköön, että ei ainoastaan varjon ja valon välinen Kuun pinnan raja näytä rosoiselta ja mutkailevalta, vaan vielä hämmästyttävämpää on, että lukuisia kirkkaita pilkkuja ilmestyy Kuun pimentyneelle puolelle. Nämä ovat aivan erillään valaistusta puolesta, ja ovat siitä varsin etäällä. Ajan mittaan ne vähitellen paisuvat ja kirkastuvat. Tunnin, parin päästä ne sulautuvat muuhun valaistuun tällä välin laajentuneeseen alueeseen. Sillä aikaa puhkeaa sieltä täältä näkyviin uusia huippuja kuin sienä sateella. Ne välähtävät pimennosta esiin, kasvavat ja yhtyvät lopuksi samaan yhä etenevään valaistuun pintaan. Tätä havainnollistaa ylläoleva kuva (kuva 3). Eivätkö Maankin päällä samoin ennen



Kuva 3. Galilein piirros Kuusta viimeisen neljänneksen aikana. Vertaa kuvaan 4.

auringonnousua korkeimmat vuorenhuiput ole päivänvälisen valaisemina, kun alangolla vielä varjot viipyvät? Eikö valo leviä edelleen samalla kun vuorten leveämmät selänteet valkenevat? Kun sitten Aurinko on viimein noussut, eikö tasankojen ja ylänköjen valkeus lopulta sulaudu yhteen? Näyttää tosin siltä, että Kuun pinnalla kohoumien ja painanteiden moninaisuus kaikin tavoin ylittää maankuoren rosoisuuden, kuten jäljempänä osoitamme."

Galilein kuvailu Kuun pinnan mare-tasangoista, vuoristoista ja kraattereista sekä auringonvalon etenemisestä Kuun pinnalla on niin oikea ja raikas, että parempaa olisi tänä päivänäkin vaikea kirjoittaa. Vuonna 1610 oli tällaisen tekstin vaikutus mullistava – vaikka siihen ei suhtauduttukaan niin yksimielisen ihastuneesti, kuin Galilei kenties oli kuvitellut sitä kirjoittaessaan. Ryhtyessään katselemaan Kuuta kaukoputkellaan oli Galilei itse jo virittynyt näkemään juuri jotain sellaista, mitä sitten näkikin. Hän oli jo tuolloin otaksuttavasti melko vakuuttunut siitä, että traditionaalinen taivaankappaleiden ja Maan olemuksien välille kuviteltu ero oli väärä. Galilei löysi heti oikeat analogiat Kuun pinnalla näkeminsä optisten ilmiöiden ja kaikkien tuntemien Maan pinnan ilmiöiden välillä, koska hän itse suorastaan oli lähtenyt tällaisia analogioita etsimään. Galileille oli myöhemmin järkytys huomata, että sellaiset henkilöt, jotka eivät olleet halukkaita eivätkä valmistuneita näkemään samaa, minkä hän itse näki, eivät sitä myöskään nähneet. Joissakin tapauksissa tämä johtui suoranaisesta dogmaattisesta järeäpäisyydestä: kertomukset oppineista, jotka kieltäytyivät katsomasta kaukoputkeen, koska Aristoteles ei kirjoittanut mitään kaukoputkesta, ovat valitettavan tosia. Toisissa tapauksissa oli kyse vaikeammin voitettavasta problematiikasta. Ihmisen havaintokykyä lisäävä kaukoputki toi luonnontieteeseen aivan konkreettisenä probleemina kysymyksen: mitä "välitön havaitseminen" oikeastaan tarkoittaa, vai onko sellaista lainkaan olemassa? Galilei väitti kaukoputkeen katsomalla "välittömästi näkevänsä", että Kuun pinta on Maan pinnan tavoin rosoinen. Toiset väittivät, että tällaista asiaa ei suinkaan voi välittömästi havaita, vaan on kyse Galilein tekemistä vääristä johtopäätöksistä. Kuluneet lähes 400 vuotta ovat ratkaisseet tämän konkreettisen probleemin kohdalla asian: Galilei teki oikeat johtopäätökset. Periaatteellisena luonnontieteiden filosofiaan ja metodiikkaan kuuluvana probleemina on kysymys "välittömien", "hypoteesittomien" havaintotulosten mahdollisuudesta tai mahdottomuudesta jäänyt Galilein jälkeisen luonnontieteen pysyväksi ongelmaksi (vrt. [5] pp. 7–75).

Jatkamme Galilein kuvailua Kuun pinnasta. Kuvailtuaan Kuun kraattereita ja todettuaan eräiden Kuun osien olevan erityisesti kraattereiden rikkoman Galilei siirtyi kuvailemaan mare-tasankoja ([3] pp. 34–35, [5] pp. 95–96):

"Suuret Kuun läikät vuorostaan eivät näytä yllä kuvatulla tavalla

rikkinäisiltä ja onkaloiden sekä kuhmuroiden täyttämiltä. Ne ovat sileitä ja tasaisia, ja vain siellä täällä putkahtaa esiin kirkkaampia viuruja. Jos siis joku tahtoisi herättää henkiin muinaisen pythagoralaisen mielipiteen, että Kuu on kuin toinen Maa, vastaisivat sen vaaleammat osat varsin osuvasti maan ja tummemmat osat veden peittämiä alueita. En ole milloinkaan epäillyt, että jos etäältä katselisimme omaa Auringon valaisemaa palloamme, niin maa-alueet näyttäisivät vaaleammilta ja vesialueet tummemmilta. Kuun suurten läikkien havaitaan lisäksi sijaitsevan matalammalla kuin vaaleiden tienoiden. Olipa nimittäin kasvavan tai vähenevän Kuun aika, aina nähdään siellä täällä valon ja varjon rajalla joitain vaaleammalle vivahtavia harjanteita suurten läikkien ympärillä. Tämän olemme ottaneet huomioon kuvioita valmistaessamme. Mainittujen läikkien reunat ovat paitsi matalammalla myös sileämpiä; niitä eivät katko huiput eivätkä rosot.”

Galilein otaksuma, että Kuun suuret tummat alueet olisivat meriä, ei osunut oikeaan. Galilei seurasi nytkin johtotähteään: vanhaa pythagoralaista hypoteesia; Kuu on toinen Maa. Veden puuttuminen Kuun pinnalta saatiin lopullisesti selvitettyksi vasta paljon myöhemmin. Galilein ja häntä seuranneiden Kuun havaittajien perintöä on, että Kuun pinnan tummista alueista käytetään tänä päivänäkin erilaisiin vesialueisiin viittaavia nimiä.

Seuraavaksi Galilei kuvailee mare-tasankojen reunavuoria ja siirtyy sitten kuvailemaan jotain keskellä Kuun pintaa sijaitsevaa suurta kraatteria seuraavalla tavalla ([3] pp. 36–37, [5] pp. 93–94):

”Vielä erästä ilmiötä en halua jättää mainitsematta, sillä katselin sitä melkolailla ihmetellen. Melkein keskellä Kuuta sijaitsee nimittäin kaikkia muita suurempi painautuma, joka on aivan pyöreä muodoltaan. Olen tehnyt havaintoja siitä sekä ensimmäisen että viimeisen neljänneksen vaiheilla, ja olen yrittänyt esittää sen mahdollisimman oikein jälkimmäisessä ylläolevista kuvioista. Sen valot ja varjot tarjoavat samanlaisen näkymän jollaisen tarjoaa Böömin kaltainen alue, jos sitä ympäröisivät joka puolelta täsmälleen ympyrän muotoon asettuneet erittäin korkeat vuoret. Tämä Kuun alue on tosiaankin niin mahtavien huippujen ympäröimä, että Kuun pimeän osan puolella oleva reunaharjanne nähdään auringonvalossa kylpevänä ennen kuin valon ja varjon raja on ehtinyt alueen puoliväliinkään. Sen varjossa oleva osa osoittaa Aurinkoa kohti, kun taas sen valoisa osa on Kuun pimeän osan puolella; samoinhan on asia muidenkin täplien kohdalla. Kiinnitän tähän jo kolmannen kerran huomion, sillä tämä on aivan vakuuttava todistus Kuun vaaleilla alueilla

Kuva 4. Kuun valokuva, joka vastaa Galilein piirtämää tilannetta kuvassa 3.



vallitsevasta rosoisuudesta ja epätasaisuudesta. Lisäksi näyttävät tällaisista läiskistä aina ne tummimmilta, jotka koskettavat valon ja varjon rajaviivaa, kun taas kauempana sijaitsevat näyttävät sekä pienemmiltä että vähemmän tummilla. Kun vihdoinkin koittaa täysikuu – Kuun ollessa Aurinkoon nähden oppositiossa – niin painautumien tummuus erottuu harjanteiden vaaleudesta vain vaimeasti ja heikoin vivahtein”.

Täyttä yksimielisyyttä ei vallitse siitä, mitä kraatteria Galilei tässä kuvailee. Niin ylivoimaisesti muita suurempaa kraatteria, jollaisena Galilei tämän kraatterin esittää sekä tekstissä että kuvassa, ei Kuun keskivaiheilla ole. Todennäköisempänä kaiketi pidetään, että Galilei tarkoittaa kuvauksellaan kraatteri Ptolemaiosta (vrt. [10] kuva 48). Valaistusolosuhteista riippuen saattaa kuitenkin jokin pienempikin terminaattorin vaiheilla sijaitseva kraatteri tehdä muista selvästi erottuvan vaikutuksen; tällainen on esim. kuvissa ja terminaattorilla sijaitseva kraatteri Albategnius.

Ne varhaiset tähtitieteilijät ja filosofit, jotka aikanaan olivat vakiinnuttaneet opin täydellisen pallonmuotoisista taivaankappaleista, saattoivat tietenkin perustaa väitteensä erittäin vakuuttavaan havaintoon. Esimerkiksi juuri Kuu näyttää paljain silmin niin täydellisen pyöreältä, että Maan päällä on vaikea aikaansaada yhtä sileää pallonmuotoista kappaletta. Kun nyt Galilei väitti Kuun päinvastoin olevan muodoltaan Maapalloakin rosoisemman, oli hänen selitettävä, mistä johtuu, että Kuu kuitenkin näyttää aivan sileän ympyriäiseltä. Tästä hän kirjoittaa seuraavaa ([3] pp. 38–39, [5] pp. 96–97):

”Nyt kuitenkin arvaan, että monia henkilöitä rupeaa epävarmuus kalvamaan, ja he ajautuvat vakaviin vaikeuksiin, jolloin heistä saattaa tuntua välttämättömältä ruveta epäilemään johtopäätöstä, jota jo monet ilmiöt valaisevat ja tukevat. Jos auringonvaloa kirkkaammin heijastava Kuun pinnan osa on täynnä rosoja – siis lukemattomia huippuja ja rotkoja – kuinka on mahdollista, että alkukuun länsireuna, loppukuun itäreuna ja täysikuun piiri kokonaisuudessaan ei näy epätasaisena, karkeana ja aaltoilevana? Reunat näyttävät päinvastoin niin täydellisen ympyriäisiltä kuin jos ne olisi harppia käyttäen piirretty. Reuna-alue koostuu kuitenkin yksinomaan vaaleammasta Kuun substanssista, jonka olemme kertoneet olevan täynnä vuoria ja rotkoja. Itse asiassa ei suurista läiskistä ainoakaan ulotu Kuun äärimmäiselle reunalle saakka, vaan ne ryhmittyvät kaikki yhteen tietylle etäisyydelle reunasta.

Sallikaa minun selvittää tämän huolta aiheuttavan ilmiön kaksinkertainen aiheuttaja, jolloin samalla annan pulmalle kaksikin ratkaisua. Ensiksikin: mikäli Kuussa olisi ulokkeita ja painautumia vain näkyvää puolipalloa rajoittavan ympyriäisen piirin äärimmäisellä reunalla, niin Kuu saattaisi meistä näyttää – jopa välttämättä näyttäisi – melkein hammasrattaalta, jota reunustaisi lovettu

tai aaltoileva reuna. Kuvitelkaamme kuitenkin, että Kuussa ei ole vain juuri ympyränkehää myöten sijoittunutta kohoutumien jonoa, vaan suuri joukko vuoriketjuja ja vastaavia laaksoja ja kanjoneita riveissä Kuun reunan vaiheilla, ei ainoastaan meidän näkemällämme puolipallolla, vaan kaikkialla kahden puolipallon rajaviivan läheisyydessä. Tällöin ei kaukaa tähyävä silmä kykene erottamaan vuorien välisiä rotkoja, sillä jollain tietyllä ympyrällä tai tietyssä ketjussa sijaitsevien vuorten välit kätkeytyvät toisissa ketjuissa sijaitsevien toisten vuorten peittoon. Tämä pätee erityisesti, jos havaitsijan silmä sijaitsee mainittujen vuorihuippujen kanssa samalla suoralla viivalla. Maankin päällä näyttävät monien lähellä toisiaan sijaitsevien vuorten huiput sijaitsevan samassa tasossa, mikäli katselija sijaitsee kaukana ja samalla korkeudella. Samoin näyttävät kovan merenkäynnin aikana aallonharjat muodostavan tason, vaikka korkeiden aaltojen väliin saattaa jäädä niin syviä aallonpohjia ja syövereitä, että niihin mahtuvat piiloon mahtavien laivojen runkojen lisäksi vieläpä reelingit, mastot ja takilatkin. Koska nyt Kuussa on kehällä sijaitsevien lisäksi monia muitakin vuorien ja rotkojen ketjuja, ja koska näitä kaukaa katseleva silmä sijaitsee melkein niiden huippujen määräämässä tasossa, ei ole syytä ihmetellä, vaikka ne näyttävätkin muodostavan säännöllisen ja sileän viivan.”

Toisena mahdollisena syynä, miksi Kuun reuna näyttää niin sileältä, Galilei esittää arvelun, että Kuussa olisi kaasukehä, joka osaltaan tasoittaa sen näkyvää profiilia. Tässä – kuten Kuun merienkin kohdalla – Galilei antoi Kuun ja Maan välisen analogian johtaa itsensä pitemmälle, kuin havainnot olisivat vaatineet.

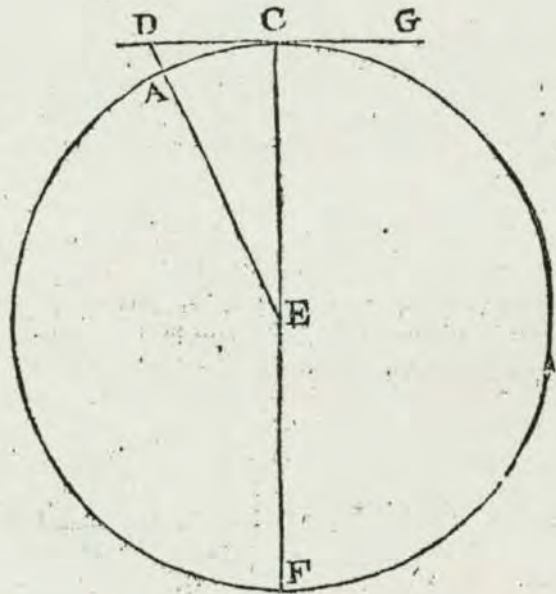
Galileille ei riitä, että hän on todennut Kuun pinnan olevan vuoristaisen. Hän ryhtyy jopa niin rohkeaan puuhaan kuin Kuun vuorten korkeuksien määräämiseen. Tätä voitaneen pitää ensimmäisenä kvantitatiivisena yrityksenä toisten taivaankappaleiden fyysikaalisen rakenteen selvittämiseksi. Galilei onnistui pääsemään varsin hyvään arvioon, kuten seuraavasta katkelmasta selviää ([3] pp. 40–41, [5] pp. 98–100):

”Selostamistani ilmiöistä on luullakseni jo kyllin selvästi ilmennyt, että vaaleampi osa Kuun pinnasta on kauttaaltaan kuhmujen ja kolojen täplittämä. Minun on vielä kerrottava niiden mittasuhteista. Osoitan, että Maan epätasaisuudet ovat paljon vähäisempiä kuin Kuun epätasaisuudet. Tällä tarkoitan, että ne ovat absoluuttisestikin vähäisempiä, eivät ainoastaan suhteessa vastaavien pallojen kokoihin. Tämä todistetaan oikeaksi seuraavalla tavalla.

Olen monta kertaa – Kuun sijaitessa eri tavoin Aurinkoon nähden – havainnut joidenkin pimeällä alueella sijaitsevien huippujen näkyvän valaistuna, vaikka ne ovat melko etäällä valon rajasta. Verratessani tätä välimatkaa Kuun

täyteen läpimitaan huomasi sen joskus ylittävän läpimitan kahdeskymmenesosan. Olkoon tämän mukaisesti (kuva 5) CAF Kuun isoympyrä, E sen keskipiste, ja CF halkaisija, joka suhtautuu Maan halkaisijaan kuten kaksi seitsemään.

Erinomaisten tarkkojen havaintojen mukaan on Maan halkaisija seitsemäntuhatta penikulmaa (italiaista penikulmaa), joten CF on kaksituhatta, CE tuhat, ja CF:n kahdeskymmenesosa on sata penikulmaa. Olkoon nyt CF sen isoympyrän halkaisija, joka erottaa Kuun valaistun osan pimeästä osasta – Auringon ja Kuun erittäin suuresta välimatkasta johtuen ei tämä nimittäin poikkeava havaittavassa määrin isoympyrästä. Olkoon A:n etäisyys C:stä halkaisijan kahdeskymmenesosa. Piirretään säde EA, joka jatkettuna leikkaa valaisevaa sädettä esittävän tangenttiviivan pisteessä D. Tällöin kaari CA tai pikemminkin jana CD koostuu sadasta sellaisesta yksiköstä, joita CE sisältää tuhat, joten DC:n ja CE:n neliöiden summa on 1 010 000. Tämä on DE:n neliön suuruinen, joten ED on suurempi kuin 1 004. AD:ssä on siis enemmän kuin 4 niitä yksiköitä, joita CE sisälsi tuhat. Kuun



Kuva 5. Galilein piirros, joka havainnollistaa Kuun vuorten korkeuksien mittaamista.

pinnalla sijaitseva korkeus AD, joka esittää auringonsäteeseen GCD asti ylettyvää huippua, on siis yli neljä penikulmaa. Maan päällä ei ole vuoria, jotka nousisivat yhdenkään penikulman korkeuteen. Niinpä on aivan selvää, että Kuun kohoutumat ovat paljon korkeampia kuin Maan kohoutumat."

Galilein arvio $\frac{4}{7000}$ Maan halkaisijaa eli 7.3 kilometriä on kertaluokaltaan oikea arvio Kuun korkeimmille vuorenhuipuille. Sen sijaan Galilein arvio Maan vuorten korkeudesta osuu pahasti harhaan.

Seuraavaksi Galilei esittelee tunnettua ilmiötä, että uudenkuun aikoihin Kuun tumma osa ei ole täysin näkymätön, vaan se loistaa heikkoa valoa. Jo aikaisemmin olivat m.m. Leonardo da Vinci ja Michael Mästlin esittäneet, että tämä harmahtava valo on Maan pinnasta heijastunutta auringonvaloa. Tähän yhtyy myös Galilei. Hän toteaa, että tämä merkitsee sitä, että Maalla on eräs aikaisemmin nimenomaan tähdille luonteenomaisena pidetty ominaisuus: se heijastaa auringonvaloa ja on samassa mielessä valaiseva taivaankappale kuin Kuukin. Tämä on jälleen uusi isku opille taivaankappaleiden ja Maan välisestä periaatteellisesta erosta ja uusi tuki sille, mikä Galilein ajatuksissa tuntuu olevan tärkein kopernikanismin julistus: Maa on olemukseltaan planeettoihin rinnastettava taivaankappale. Tämän vakaumuksensa julistamiseen Galilei päättää teoksen Sidereus Nuncius Kuuta käsittelevän osan ([3] p. 45, [5] pp. 104–105):

"Tässä riittääkööt nämä pari huomautusta mainitusta asiasta, jota käsittelemme täydellisemmin kirjassamme "Maailmansysteemi". Mainituksessa teoksessa tullaan moninaisin päättelyin ja kokein osoittamaan, että Maan heijastama auringonvalo on aivan reaalinen ilmiö. Tämä on vastoin niitä henkilöitä, jotka väittävät, että Maa täytyy sulkea pois tähtien tanssivasta piiristä siitä erityisestä syystä, että siltä puuttuvat liikkumisen ja valoisuuden ominaisuudet. Tulemme todistamaan, että Maa on Kuuta loistavampi vaeltava taivaankappale eikä laisinkaan maailmankaikkeuden kaiken raskaan kuonan kaatopaikka. Tätä perustelemme lukemattomilla luonnonilmiöistä saaduilla argumenteilla."

Nämä rivit antavat pähkinänkuoressa Galilein kosmologisen ohjelmanjulistuksen. Galilei ilmeisesti kokee kopernikaanisen kosmoksen samalla tavoin luontevana ihmisen elinympäristönä, jollainen vanhan kosmologian kannattajille oli pallonkuorien suojaama Maa. Galilei lienee ensimmäinen, joka on julkisesti julistanut, että "Kuuta loistavamman taivaankappaleen" pinnalla asuminen on mitä luontevinta ja aivan ongelmatonta. Aikaa myöten olemme kaikki oppineet hyväksymään uuden kosmoksen kodiksemme, jopa niin perusteellisesti, että meidän on vaikeata, kenties mahdotontakin, eläytyä ymmärtämään sitä

emotionaalista vastareaktiota, mitä Galilein ajatukset maankaltaisesta Kuusta ja kuunkaltaisesta Maasta synnyttivät.

Galilein lupaama ”Maailmansysteemi”-teos ilmestyi vasta vuonna 1632. Tässä teoksessaan hän todella selostaa varsin laajalti ja perusteellisesti niitä havaintoja ja kokeita, jotka osoittavat Maan heijastavan auringonvaloa ([6] pp. 62–99). Mainitun Galilein teoksen ja sen ilmestymisen aiheuttaman tapahtumaketjun selostaminen ei enää kuulu tämän kirjoituksen puitteisiin.

7. Galilein havainnot kiintotähdistä

Kuuta kuvailtuaan Galilei siirtyy tarkastelemaan kiintotähtiä ja erityisesti Linnunrataa. Hän toteaa kaukoputkea käyttäen näkyvän tavattoman lukuisasti paljain silmin näkymättömiä tähtiä. Esimerkiksi Orionin keskiosista hän laskee 80, Plejadeista 36 ennen tuntematonta tähteä. Linnunradan hän toteaa muodostuvan tähdistä, joista pienimpien määrä on lukematon. Galilei arvelee myös muiden tähtitaivaalla näkyvien sumumaisten läikkien olevan tähtien kasautumia. Galilei aloittaa täten yli 300 vuotta kestäneen keskustelun ”tähtisumujen” olemuksesta. Tähtisumuja on Galilein jälkeen vuorotellen pidetty tähtijärjestelminä ja avaruuden kaasui- tai pölypilvinä. Vasta omalla vuosisadallamme on ratkaistu, että ”tähtisumujen” joukossa on molempia.

Galilei huomasi, että kaukoputki ei suurena kiintotähtiä sellaisiksi levymäisinä näkyviksi objekteiksi kuin planeettoja. Vielä nyt tarkastelun alaisena olevassa tähtitieteellisessä esikoisteoksessaan Galilei ei tee tästä mitään erityisiä johtopäätöksiä, mutta myöhemmin hän käytti tätä heikentämään vakavimman tähtitieteellisen vastaväitteen painoa, mikä Kopernikusta vastaan oli esitetty. Ennen kaukoputken keksimistä oli nimittäin tähtiä ja planeettoja yleensä pidetty samanlaisina taivaankappaleina, jotka erityisesti molemmat valaisevat heijastamalla Auringon valoa. Tällöin niiden kirkkaus olisi ainakin karkeasti arvioiden verrannollinen niiden kulmaläpimitaan taivaanpallolla, jolloin m.m. planeettojen ja kirkkaimpien tähtien kulmaläpimitat olisivat samaa kertalukua. Tyko Brahe kykeni tarkkojen havaintojensa perusteella arvioimaan, että lähimpienkin kiintotähtien täytyy sijaita ainakin 100 kertaa Saturnuksen etäisyydellä Maasta. Tämä seurasi havaittavan vuotuisen parallaksin puuttumisesta. Näistä luvuista Tyko arvioi, kuinka suuria kiintotähtien tulisi olla, ja päätyi mielestään järjettömän suuriin arvioihin. Tästä hän päätteli, että Kopernikuksen opin liikkuvasta Maasta täytyy olla väärä. Galilein kaukoputkihavainnot osoittivat, että tähtien kulmaläpimitat ovat huomattavasti pienempiä kuin planeettojen kulmaläpimitat. Aikanaan tämä johti Galilein oivaltamaan, että tähtien valo ei voi olla heijastunutta auringonvaloa, vaan tähdet ovat Auringon tavoin omavaloisia. Tämä johti Galilein uuteen taivaankappaleiden luokittelumistapaan: kun aikaisemmin oli erotettu toisaalta

valaisevat taivaankappaleet, toisaalta valaisematon Maa, erotti Galilei toisaalta Auringon ja tähdet omavaloisten taivaankappaleiden, Maan, Kuun ja planeetat heijastamalla valaisevien taivaankappaleiden luokkaan kuuluviksi ([5] pp. 192–193). Nämä tarkastelut kuuluvat kuitenkin Galilein myöhempisiin vaiheisiin.

Esitän käännöksen Galilein Linnunrataa ja taivaalla näkyviä sumumaisia läikkiä käsittelevästä tekstistä ([3], pp. 49–50, [5] pp. 109–110):

”Kolmanneksi: olen tehnyt havaintoja Linnunradan olemuksesta ja ainesosista. Kaukoputken avulla sitä voi tarkastella niin välittömästi ja silminnähävän totuudenmukaisesti, että kaikki filosofeja pitkät ajat kiusanneet väitökset on ratkaistu, ja pääsemme vihdoin eroon siitä koskevasta monisanaisista väittelyistä. Linnunrata ei todellakaan ole muuta kuin lukemattomien parviksi ryhmittyneiden tähtien moninaisuus. Mihin sen alueeseen kaukoputken suuntaakin, välittömästi katse kohtaa sankan parven tähtiä. Monet niistä ovat melko suuria ja tuiki kirkkaita, kun taas pienempien lukumäärää ei lainkaan pysty laskemaan.

Vaaleita sumumaisia läikkiä nähdään muuallakin kuin Linnunradassa. Siellä täällä pitkin tähtitaivasta häämöttää himmeästi monia samalta näyttäviä hahtuvia. Kun kaukoputki suunnataan niitä kohti, paljastuu katselijalle heti tiuha parvi tähtiä. Vielä merkittävämpää on, että sellaiset tähdet, joita kaikki tähtitieteilijät tähän päivään saakka ovat kutsuneet ”sumumaisiksi”, osoittautuvatkin ihmeellisellä tavalla järjestyneiden hyvin pienien tähtien ryhmiksi. Vaikka kukin tähdistä erikseen jääkin meiltä näkemättä pienen kokonsa tai suunnattoman etäisyytensä takia, niin niiden yhteinen säteily saa aikaan häämötyksen. Tätä pidettiin aikaisemmin jonkinlaisena eetterin tihentymänä, joka heijastaisi tähtien tai Auringon säteitä. Olen tehnyt havaintoja muutamista tällaisista tähtikuvioista, ja päätin tässä kuvailla niistä kahta.

Ensimmäisessä kuviossa näet tähtisumun, jota kutsutaan Orionin pääksi. Siinä olen laskenut 21 tähteä. Toinen näyttää Praesepeksi nimitetyn tähtisumun, joka ei ole yksinkertainen tähti, vaan yli neljänkymmenen tähtösen parvi. Näistä olen Asellien (γ Cnc ja δ Cnc) lisäksi esittänyt 36 kappaletta kuvion mukaisesti järjestettyinä” (kuva 6).

Tämän kirjoittajan on pakko todeta, että Galilein piirrosten ja nykyisten tähtikarttojen tai -valokuvien välille on vaikea löytää vastaavuutta.

8. Jupiterin kuiden löytäminen

Kaikkein tärkeimpänä kaukoputkella tekemistään keksinnöistä Galilei pitää



Kuva 6. Praesepeen tähtiparvi Galilein piirtämänä.

sitä, että hän on löytänyt ”neljä planeettaa”. Tätä pidetäänkin Galilein merkittävimpänä saavutuksena havaitsevana tähtitieteilijänä. Tämä oli myös vakuuttava osoitus siitä, että vanhat tähtitieteilijät eivät kaikesta viisaudestaan huolimatta olleet tunteneet planeettajärjestelmän rakennetta kokonaisuudessaan. Siihen asti tunnetut Aurinkokunnan jäsenet oli tunnettu ikimuistoisista ajoista asti. Niitä ei milloinkaan ollut ”keksitty” sellaisen tietoisien taivaan havaitsemisen tuloksena, kuten Jupiterin satelliitit keksittiin. Jokaisen pätevän tähtitieteilijän oli Jupiterin kuiden löytämisen jälkeen pakko myöntää, että vallassa ollut käsitys tähtitaivaan kiertoliikkeistä kaipasi ainakin erältä yksityiskohdiltaan täydennystä.

Galilein oma selostus Jupiterin kuiden keksimisestä on tutkimusraportti, joka vielä tänäkin päivänä välittää meille intensiivisen ja autenttisen kuvan löytämisen riemusta ja jännityksestä ([3] pp. 50–54, [5] pp. 110–113):

”Olemme edellä lyhyesti esitelleet Kuusta, kiintotähdistä ja Linnunradasta tähän mennessä tehtyjä havaintoja. Vielä on kertomatta asia, jota mielestäni on pidettävä kaikkein tärkeimpänä: maailman luomisen hetkestä tähän päivään asti kenenkään näkemättömän neljän PLANEETAN keksiminen. Samalla kerron, miten ne keksin ja miten olen viimeksi kuluneiden kahden kuukauden aikana tutkinut niitä ja niiden asemia sekä tehnyt havaintoja niiden liikkeistä ja muuttumisista. Täten kutsun kaikki tähtitieteilijät ryhtymään niitä tutkimaan ja niiden jaksoaikoja määräämään. Tämän suorittaminen on toistaiseksi ollut aivan mahdotonta ajan lyhyiden takia. Varoitin kuitenkin vielä kerran, että tehtävää varten tarvitaan hyvin tarkka kaukoputki, jollaista kuvailimme tämän tutkielman alussa.

Tammikuun 7. päivänä kuluvana vuonna 1610 yön ensimmäisellä tunnilla kaukoputkella taivaankappaleita tähyillessäni kiintyi katseeni Jupiteriin. Olin valmistanut omaan käyttöön erinomaisen kojeen, joten huomasin – mitä en aikaisemmin edellisen kojeeni heikkouden vuoksi ollut tehnyt – että planeetan vierellä sijaitsi kolme tähtöstä, tosin pieniä, mutta hyvin kirkkaita. Vaikka kuvittelin niiden kuuluvan kiintotähtien joukkoon, ne herättivät jossain määrin kiinnostustani siksi, että ne näyttivät sijaitsevan täsmälleen ekliptikan suuntaisella suoralla ja olivat muita samankokoisia tähtiä loistavampia.

Niiden järjestys Jupiterin ja toistensa suhteen oli seuraava:

Itä * * ○ * Länsi

Kaksi tähteä oli siis Jupiterista itään ja yksi länteen. Kaikkein itäisin sekä lännenpuoleinen tähti näyttivät jäljelläolevaa kirkkaammilta. En kiinnittänyt huomiota niiden ja Jupiterin välisiin etäisyyksiin. Ajattelinhan – kuten jo kerroin – aluksi niiden olevan kiintotähtiä. Ryhdyin kuitenkin tammikuun kahdeksantena uudelleen samaan tutkiskeluun – syytä siihen en saa mieleeni – ja löysin aivan toisenlaisen jonon. Nyt olivat kaikki kolme tähtöstä Jupiterista länteen, lähempänä toisiaan, ja niiden keskinäiset välimatkat olivat yhtä pitkiä, kuten ilmenee seuraavasta piirroksesta:

Itä ☆ * * * Länsi

En vieläkään ruvennut miettimään, miten tähdet olivat tulleet lähemmäksi toisiaan. Minua rupesi kuitenkin tällä kertaa vaivaamaan ongelma, miten Jupiter saattoi olla kaikkien näiden tähtien itäpuolella, kun se edellisenä päivänä oli ollut länsipuolella niistä kahta. Aloin ihmetellä mahtoiko Jupiter par'aikaa vastoin tähtitieteilijäin laskuja olla liikkeessä itään päin, jolloin sen liike oli vienyt sen edelle tähdistä. Niinpä odotin jännittyneenä seuraavaa yötä. Petyin kuitenkin toiveissani, sillä silloin oli taivas kauttaaltaan pilvessä.

Tammikuun kymmenentenä tähdet kuitenkin näkyivät tässä asemassa Jupiterin suhteen

Itä

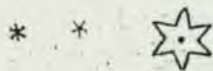


Länsi

Niitä siis oli vain kaksi, molemmat itäpuolella; kolmas – kuten oletin – oli parhaillaan Jupiterin peitossa. Kuten ensimmäiselläkin kerralla ne sijaitsivat täsmälleen eläinradassa ja Jupiterin kanssa samalla suoralla. Todettuani tämän ja tietäen, että moiset vaihtelut eivät mitenkään voi olla Jupiterin liikkeiden seurauksia, kasvoi neuvottomuuteni hämmennykseksi. Olinhan nimittäin varma, että olin kaiken aikaa havainnut samoja tähtiä. Muita tähtiä ei ollutkaan löydettävissä eläinradalta pitkälti Jupiterin kummaltakaan puolelta. Olin varma, että havaitut vaihtelut eivät olleet Jupiterin vaan löytämiäni tähtien aikaansaannoksia. Päätin jatkaa tutkimusta tarkkaavaisemmin ja huolellisemmin.

Niinpä sitten tammikuun yhdentenätoista näin seuraavan kuvion:

Itä



Länsi

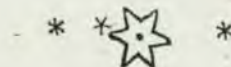
Tähtiä oli kaksi, molemmat itäpuolella, keskimäinen oli Jupiterista kolme kertaa niin pitkän matkan päässä kuin itäisimmästä tähdestä. Viimeksimainittu oli miltei kaksi kertaa ensinmainitun kokoinen, vaikka ne olivat edellisenä yönä näyttäneet suunnilleen saman kokoisilta.

Nyt olin epäilyksettä ratkaissut, että taivaalla oli kolme tähteä, jotka vaeltavat Jupiterin ympäri kuten Venus ja Merkurius Auringon ympäri, ja tämä kävi päivänselväksi seuraavista samanlaisten ilmiöiden havainnoista. Näitä tähtiä ei sitäpaitsi ollut vain kolme. Neljä vaeltajaa suorittaa kiertoliikettä Jupiterin ympäri. Kuvailimme tässä niiden liikkeitä siten, kuin niitä tästä eteenpäin täsmällisesti havaittiin. Mittasin myös aikaisemmin selostamaani menetelmää käyttäen kaukoputken avulla niiden välisiä etäisyyksiä. Lisäksi merkitsin

muistiin havaintoajat, varsinkin, milloin useampia havaintoja tehtiin samana yönä. Nämä planeetat suorittavat nimittäin kiertonsa niin nopeasti, että yleensä on mahdollista todeta niiden liikkuminen jopa tunnista toiseen.

Niinpä näin tammikuun 12. päivänä yön ensimmäisenä tuntina tähdet seuraavassa järjestyksessä:

Itä

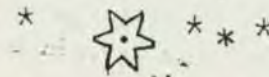


Länsi

Itäisin tähdistä oli suurempi kuin läntisin, vaikka molemmat näkyivät helposti ja olivat varsin kirkkaita. Kumpikin oli noin kahden kaariminuutin päässä Jupiterista. Kolmas tähti oli ensiksi näkymätön mutta ilmestyi kahden tunnin kuluttua näkyviin. Se miltei kosketti Jupiteria itäpuolella ja oli aivan pitkuinen. Kaikki sijaitsivat samalla ekliptikan suuntaisella suoralla.

Tammikuun 13. päivänä näin ensimmäisen kerran 4 tähteä tässä suhteellisessa asemassa Jupiteriin nähden:

Itä



Länsi

Kolme sijaisi lännessä ja yksi idässä. Ne sijaitsivat muuten samalla suoralla viivalla, paitsi että keskimäinen lännenpuoleisista tähdistä poikkesi hieman pohjoisen puolelle. Idänpuoleinen tähti oli kahden kaariminuutin päässä Jupiterista, ja välit jokaisen muun ja Jupiterin välissä olivat noin kaariminuutin pituiset. Kaikki tähdet näyttivät samankokoisilta, ja ne olivat hyvin kirkkaita vaikka pieniä, paljon kirkkaampia kuin saman kokoiset kiintotähdet.”

Galilei johtuu siis havaintojensa nojalla mullistavaan tulokseen: Jupiteria kiertää neljä ”planeettaa”. Nykyään emme kutsu tällaisia taivaankappaleita planeetoiksi vaan satelliiteiksi; tämä nimi on peräisin Kepleriltä. Galilei itse nimitti keksimänsä taivaankappaleet Medicien tähdeksi. Aikaa myöten Medicien on kuitenkin käynyt kuten eräiden muidenkin samalla tavoin tähtitaivaalle korotettujen ruhtinaiden: jälkimaailma ei ole heitä sinne kelpuuttanut. Medicien tähdet tunnetaan nykyisin erisnimillä Io, Europa, Ganymedes ja Callisto tai ryhmänimellä ”Galileilaiset kuut”.

Galilei seurasi Jupiterin satelliittien kulkua maaliskuun 2. päivään saakka ja julkaisi teoksessaan yksityiskohtaisen havaintoluettelon koko tältä ajalta. Galileille Jupiterin satelliitit merkitsivät ennen kaikkea uutta argumenttia, jota voitiin käyttää taistelussa kopernikanismin puolesta. Hän päättää esityksensä

Jupiterin kuista seuraavaan yhteenvedon ([3] pp. 56–57, [5] pp. 129–130):

”Tällaiset ovat neljää vast’ikään keksimääni Medicien planeettaa koskevat havainnot. Vaikka en vielä olekaan annetuista tosiseikoista lähtien konstruoinut niiden kiertoaikojen lukuarvoja, on kuitenkin aiheellista poimia esiin eräitä huomionarvoisia tosiseikkoja. Ennen kaikkea: planeetat kulkevat samalla etäisyydellä joskus Jupiterin edellä, joskus sen jäljessä ja pysyvät varsin rajoitetulla välillä Jupiterin joko itä- tai länsipuolella seuraillen tarkasti planeetan sekä etenevää että taantuvaa liikettä, joten kukaan ei voi epäillä, etteivätkö ne kiertäisi Jupiterin ympäri ja samalla suorittaisi kaikki yhdessä 12-vuotista kiertoaikaansa maailmankaikkeuden keskuksen ympäri. Lisäksi ne kiertävät erikokoisia ympyröitä myöten. Tämä voidaan epäamättömästi päätellä siitä, että niiden ollessa suurimman kulmaetäisyyden päässä Jupiterista ei milloinkaan ole mahdollista nähdä kahden tällaisen planeetan konjunktia, kun taas Jupiterin läheisyydessä voidaan nähdä päällekkäin kaksi, kolme ja joskus kaikki neljäkin. Myös havaitaan, että pienimpiä ympyröitä myöten Jupiteria kiertävien planeettojen kierto on nopeinta. Jupiteria lähinnä kiertävät tähdet nähdään nimittäin yleensä länsipuolella, jos ne edellisenä päivänä olivat itäpuolella, ja kääntäen. Suurinta kehää kulkevan planeetan jakso näyttää sitävastoin sen takaisinpaluusta tehtyjen tarkkojen havaintojen perusteella olevan puoli kuukautta.

Tässäpä on hieno ja elegantti argumentti, jolla voimme tynnyttää sellaisten henkilöiden epäilyksiä, jotka ovat ankarasti järkyttyneitä siitä, että Kuu yksistään kiertäisi Maata ja seuraisi tätä vuotuisella kierrolla Auringon ympäri, mutta muuten hyväksyisivät tynnin mielin kopernikaanisen järjestelmän mukaiset planeettain kiertoaika- ja kiertoaikat. Muutamat katsovat, että tällainen maailmankaikkeuden rakenne pitäisi hylätä mahdollisena. Vaan tässäpä ei ainoastaan yksi planeetta kierrä toista samalla kun molemmat kiitävät suurella kehällä Auringon ympäri; omin silmin näemme neljä tähteä, jotka vaeltavat Jupiterin ympäri kuten Kuu Maan ympäri, samalla kun kaikki yhdessä purjehtivat laajaa kahdentoista vuoden kierrosta Auringon ympäri.”

Lopuksi Galilei selostaa lyhyesti havaintojaan Jupiterin kuiten kirkkauden vaihteluista, minkä jälkeen Sidereus Nuncius päättyy lauseeseen ([3] p. 58, 5 p. 131):

”Enempään minulla ei nyt ole aikaa, mutta arvoisa lukija voi pian odottaa jatkoa”.

Jupiterin kuiten löytäminen oli se Galilein keksinnöistä, joka voimakkaimmin ja välittömimmin vaikutti hänen aikalaisiinsa. Kuten edellisestä selvenee, käytti Galilei Jupiterin kuita ensisijaisesti uutena argumenttina

kopernikanismin puolesta. On selvää, että Jupiterin kuiten olemassaolo ja kiertoaika- ja kiertoaikat eivät sinänsä millään tavoin ratkaise kysymystä, kiertääkö Jupiter itse kaikkine kuitineen Aurinkoa vai Maata. Joka tapauksessa ne osoittivat, että maailman rakenne ei ainakaan ollut niin yksinkertainen, kuin sen olisi traditionaalisen kosmologian mukaan tullut olla. Missään tapauksessa ei ollut totta, että olisi ollut olemassa vain yksi materiaallinen kappale, nimittäin Maa, jota kaikki taivaankappaleet kiertäisivät. Jupiterin kuiten osoittivat, että kiertävän ”planeetta”-systeemin omaavia keskuksia on vähintäänkin kaksi, nimittäin Maa ja Jupiter. Niin muodoin oli vaikea enää syyttää ainakaan mistään ”geometrisesta luonnottomuudesta” sellaista systeemiä, jossa tällaisia keskuksia olisi kolmekin, nimittäin Aurinko, Maa ja Jupiter.

Täydellisyys voisi selostan muutamalla sanalla Jupiterin kuiten myöhempää tutkimista 1600-luvulla.

Galilei itse oli haastanut kaikki tähtitieteilijät havaintojen ja laskujen suorittamiseen, jotta kuiten kiertoajat ja -radat saataisiin tarkoin määrättyiksi. Hän esitti myös, että Jupiterin kuita voitaisiin käyttää erään 1600-luvulla suurta huolta aiheuttavan käytännön ongelman ratkaisemiseen, nimittäin pituusasteen määrittämiseen. Jupiterin kuiten pimentyminen Jupiterin varjoon ja ilmestymiset jälleen esille tarjoaisivat nimittäin mahdollisuuden eri puolilta Maapalloa suoritettaviin tarkkoihin aikahavaintoihin, ja juuri ”absoluuttisen ajan” kuljettaminen pituusasteelta toiselle oli ennen kronometrin keksimistä ratkaisematon ongelma. Menetelmän edellytyksenä oli, että Jupiterin kuiten liikkeistä pystyttäisiin laskemaan tarkat efemeridit. Galilei jatkoi itse useita vuosia Jupiterin kuiten havaitsemista ja yritti itse laskea niiden liikkeiden taulukot. Tässä hän ei kuitenkaan erityisen hyvin onnistunut, eikä hänen taulukkojaan 1600-luvulla milloinkaan julkaistu. Jupiterin kuiten kiertoajat hän kuitenkin onnistui ainakin likimain määrittämään. Vuonna 1632 julkaisemassaan teoksessa ”Dialogi kahdesta suuresta maailmanjärjestelmästä” Galilei esittää Jupiterin kuitteja seuraavat kiertoajat ([5] p. 166): 42 tuntia, 3 1/2 vrk, 7 vrk, 16 vrk. (Nykyiset arvot: Io 1.77 vrk, Europa 3.55 vrk, Ganymedes 7.16 vrk, Kallisto 16.69 vrk.)

Ensimmäiset taulukot Jupiterin kuiten kiertoaikoista julkaisi saksalainen tähtitieteilijä Simon Mayer (Marius) v. 1614 teoksessa ”Mundus Jovialis” (”Jupiterin maailma”; kts. [11] p. 231). Mayer väitti keksineensä itse Jupiterin kuitteja jo v. 1609 Galileista riippumatta. Tähtitieteen historioitsijat esittävät eräviä mielipiteitä siitä, onko asia näin vai eikö ole. Seuraavat, ja huomattavasti paremmat, taulukot julkaisi sisilialainen tähtitieteilijä G.B. Hodierna v. 1656, mutta vasta G. Domenico Gassinin v. 1668 Bolognassa julkaisemat taulut ja varsinkin niiden v. 1693 Pariisissa julkaistu uudistettu laitos esittivät Jupiterin satelliittien liikkeet tähtitieteilijöitä tyydyttävällä tarkkuudella. Jo v. 1675 määräsi tanskalainen Ole Römer valon nopeuden

Jupiterin kuiden liikkeissä ilmenevien variaatioiden perusteella (kts. [11] p. 256, [7] pp. 79–80).

Kautta 1600-luvun Jupiterin kuut olivat sekä havaitsevien että teoreettisten tähtitieteilijöiden suosituimpia tutkimuskohteita. Eräs syy tähän oli se, että Jupiterin kuita tutkimalla saattoi katolisen kirkon valvonnankin alaisena työskentelevä tähtitieteilijä esittää ajatuksiaan periaatteessa ”kopernikaanisen” tyyppisestä kiertoliikkeestä ottamatta kuitenkaan kantaa vaaralliseksi osoittautuneeseen kysymykseen Maan liikkeestä. Jo vuoden 1610 loppuun mennessä oli katolisen kirkon johtava tähtitieteellinen auktoriteetti, jesuiittatähtitieteilijä Christopher Clavius ilmoittanut, että Jupiterin kuut on havaittu Roomassa ja että hän on vakuuttunut Galilein Sidereus Nunciuksessa esittelemien havaintotulosten todenperäisyydestä. Sen sijaan hän ei yhtynyt (ainakaan julkisesti!) siihen Galilein johtavaan ajatukseen, että nämä havainnot ratkaisisivat kysymyksen maailman rakenteesta Kopernikuksen eduksi. Tällaiseksi vakiintuikin sitten katolisten tähtitieteilijöiden virallinen kanta. Tyypillisenä esimerkkinä voi mainita esim. Giovanni Borellin, joka kehitteli useita sittemmin Newtonin taivaanmekaniikkaan johtaneita ajatuksia taivaankappaleiden liikkeistä keskinäisen vetovoiman alaisina, mutta sovelsi näitä yksinomaan Jupiterin satelliittien liikkeisiin, vaikka hänellä mitä ilmeisimmin on koko ajan ollut mielessä planeettojen kiertoliike Auringon ympäri ([11] pp. 256, 262).

9. Tähtimaailman sanansaattajan vaikutus

Tähtimaailman sanansaattajan ilmestyminen merkitsi ratkaisevaa käännettä vanhan maailmansysteemin ja kopernikanismin välisessä voimainkoetuksessa. Vaikka teoksessa ei suorasti väitetty mitään Maan tai vastaavasti Auringon liikkeistä, oli jokaiselle teoksen lukijalle selvää, että teos oli voimallinen kannanotto kopernikanismin puolesta. Galilei esitti teoksessaan kopernikaanisen opin ydinkysymyksenä kokonaan toisen ongelman kuin sinänsä puhtaasti kinemaattisen kysymyksen taivaankappaleiden liikkeiden yksityiskohdista. Tähtimaailman sanansaattaja ei niinkään valaise kysymystä, miten taivaankappaleet liikkuvat, kuin kysymystä, mitkä taivaankappaleet ovat **olemukseltaan samankaltaisia**. Tämä tuntuukin jatkuvasti olevan Galilein ajatuksissa kopernikanismin ydin. Galilei palaa yhä uudelleen toteamukseen: **Maa on tähti**, t.s. planeetta. Tähtimaailman sanansaattajan olennaisimmat väitteet koskevat toisaalta Maan ja Kuun, toisaalta Maan ja Jupiterin välistä olemuksellista samanlaisuutta.

Tähtimaailman sanansaattaja herätti heti ilmestyessään tavatonta huomiota. Teos oli muidenkin kuin spesialistien helposti luettavissa ja ymmärrettävissä. Niinpä teoksesta innostuikin ehkäpä ennen kaikkea tieteesiin vähemmän

syvällisesti perehtynyt mutta yleisistä asioista kiinnostunut yleisö. Teos synnytti ryntäyksen kaukoputkien perään. Galilei itse valmisti lukuisia kojeita ruhtinaallisille suojelijoilleen. Innostus tähtitaivaan kvalitatiiviseen tarkasteluun synnytti uuden ihmistyyppin: amatööritähtitieteilijän. Amatöörit näyttelivätkin sitten tähtitieteen kehityksessä erittäin merkittävää osaa aina 1800-luvun puoliväliin asti.

Moniin akateemisen oppineisuuden edustajiin Sidereus Nuncius sen sijaan vaikutti punaisen vaateen tavoin. Jo surullista kuuluisuutta on saavuttanut kertomus oppineista, jotka sivuuttivat Jupiterin satelliitit yksinkertaisesti kieltäytymällä katsomasta kaukoputkeen. Toisin kuin monet muut Galilein elämänvaiheisiin punotut legendat lienee tämä kertomus valitettavan **totuudenmukainen**.

Galileille itselleen Tähtimaailman sanansaattaja merkitsi lähtölaukausta vuoteen 1633 asti jatkuneelle suurta julkisuutta saavuttaneelle taistelulle kopernikaanisten ajatusten puolesta. Taistelu päättyi, kuten tunnettua, siihen että katolinen kirkko julisti opin Maan liikkumisesta kerettiläiseksi, ja Galilei tuomittiin inkvisitio-tuomioistuimessa v. 1633 loppuiäkseen vankeuteen (joka sitten vaihtui kotiarestiksi) sekä julkisesti luopumaan kopernikaanisista mielipiteistään. Tämän kirjoituksen puitteissa ei ole mahdollista ryhtyä kuvailemaan näitä tapauksia eikä Galilein tässä yhteydessä kehittelemiä ajatuksia tieteen metodeista ja tieteen väittämien sekä Raamatun väittämien totuusarvojen suhteesta.

10. Galileo Galilei havaitsevana tähtitieteilijänä

Galileo Galilei jatkoi tähtitieteellisen havaintojen tekemistä kymmenisen vuotta, siis noin vuoteen 1619 asti. Aktiivisimmin hän havaitsi pari teoksen Sidereus Nuncius ilmestymistä seurannutta vuotta. Hänen näinä vuosina tekemänsä havainnot ja keksinnöt on selostettu vuonna 1613 julkaistussa teoksessa ”Kirjeitä auringonpilkuista” ([3] pp. 87–144). Kuten teoksen nimestäkin saattaa päätellä, esittelee Galilei siinä pääasiassa auringonpilkuista tekemiään havaintoja ja johtopäätöksiä. Teoksessa Galilei polemisoi saksalaisen jesuiittatähtitieteilijän Christopher Scheinerin esittämiä käsityksiä vastaan. Scheiner oli nimittäin myös havainnut auringonpilkkuja, ja esitti käsityksen, että nämä olisivat Auringon ympäri kiertäviä Jupiterin satelliittien kaltaisia kappaleita. Tällä tavoin Scheiner halusi heikentää Galilein esittämän Jupiter-Maa -analogian tehoa ja korvata sen analogialla Jupiter-Aurinko. Galilei hyökkäsi varsin kiivaasti Scheinerin mielipiteitä vastaan. Hän osoitti havaintojen johtavan väijäämättömästi siihen, että auringonpilkkujen täytyy olettaa sijaitsevan Auringon pinnalla, ja että niiden liikkumisesta voi päätellä Auringon pyörivän oman akselinsa ympäri. Auringon pinnalla välillä ilmestyvät,

välillä katoavat pilkut muodostivat uuden osoituksen sille, että aritoteellinen käsitys taivaankappaleista muuttumattomina ja kaikinpuolin täydellisinä palloina oli väärä. Galilein ja Scheinerin lisäksi havaitsivat samoina vuosina auringonpilkkuja englantilainen Thomas Harriot ja alankomaalainen Johann Fabricius. Viimeksimainittu julkaisi ensimmäisenä (v. 1611) auringonpilkkuja käsittelevän teoksen. – Kaikki neljä mainittua tähtitieteilijää ovat mahdollisesti keksineet auringonpilkut toisistaan riippumatta. Suurina auringonpilkkuvuosina oli itse asiassa pilkkuja havaittu jo kauan ennen kaukoputken keksimistä. Mainituista tähtitieteilijöistä esitti Galilei auringonpilkuista luultavasti oikeimpia käsityksiä, mutta Scheiner teki niistä pitkäaikaisimmin ja huolellisimmin havaintoja.

Auringonpilkkuja käsittelevässä teoksessaan Galilei mainitsee vielä kahdesta keksinnöstään: hän oli havainnut Venuksen vaiheet ja planeetta Saturnuksen ympärillä joitain ihmeellisiä lisäkkeitä. Venuksen vaiheet osoittivat, että tämä planeetta varmasti kiersi Aurinkoa ja heijasti Kuun tavoin auringonvaloa, t.s. ei ollut itsevalaiseva. Nämä molemmat ilmiöt olivat täysin kopernikaanisen opin mukaisia, joskaan eivät sellaisenaan paljastaneet mitään Maan ja Auringon liikkeitä. Planeetta Saturnuksen Galilei ensin ilmoitti nähneensä kolminkertaisena, t.s. hän oletti Saturnuksen rinnalla kulkevan kaksi pienempää miltei Saturnuksessa kiinni olevaa tähteä. Galilei järkyttyi suuresti, kun nämä ”Saturnuksen seuralaiset” pari vuotta myöhemmin mystillisellä tavalla hävisivät. Galilein ja hänen aikalaistensa kaukoputket eivät kyenneet paljastamaan Saturnuksen arvoitusta. Vasta Christian Huyghens osoitti vuosisadan jälkipuoliskolla, että Saturnusta ympäröi rengas, joka näkyy Maasta katsoen kovin erinäköisenä renkaan tason ja Maan keskinäisestä asemasta riippuen. (Kts. [11] pp. 254–255).

Galilein omana elinaikana toivat luultavasti hänen tähtitieteelliset havaintonsa hänelle eniten mainetta hänen aikalaistensa keskuudessa. Nykyään arvioidaan Galilein saavutuksia toisin. Merkittävimmän panoksensa eurooppalaisen tieteen kehitykselle Galilei on epäilemättä antanut liikeopillisilla tutkimuksillaan, joita tämän kirjoituksen puitteissa ei lainkaan ole käsitelty. Galilein merkitys havaitsevana tähtitieteilijänä perustuu ennen kaikkea siihen sattumaan, että kaukoputki keksittiin juuri samaan aikaan, jolloin kysymys aurinkokeskisen ja maakeskisen maailmankuvan paremmuudesta oli tähtitieteen keskeinen probleemi. Galilei osasi kaikkia muita aikalaisiaan etevämmin käyttää kaukoputkea aurinkokeskistä maailmankuvaa puolustavien argumenttien esittämiseen. Tähän seikkaan sekä niihin dramaattisiin tapahtumiin, joihin aurinkokeskisen maailmankuvan puolustaminen Galilein johti, perustuu hänen maineensa havaitsevana tähtitieteilijänä.

Tähtitieteen historioitsijan R. Grantin Galileista havaitsevana tähtitieteilijänä esittämä arvio, jota siteerattiin sivulla 152 on ilmeisen oikea.

Kaukoputken keksiminen johti välttämättömyyden pakosta myös kaukoputken käyttöön tähtitaivaan tutkimisessa. Tätä osoittaa vakuuttavasti m.m. se, että samanaikaisesti Galilein kanssa ja yleisesti ottaen Galileista riippumatta havaitsivat monet muut tähtitieteilijät samoja taivaankappaleita kuin Galileikin. Galilein harrastukset suuntautuivat lisäksi niin monelle taholle, että hän ei pystynyt paneutumaan minkään erityisen ilmiön havaitsemiseen yhtä perusteellisesti kuin joku sellainen aikalainen, joka suoritti koko tähtitieteellisen elämäntyönsä yhden ilmiöryhmän havaitsemisessa. Scheiner tutki auringonpilkkuja, Mayer Jupiterin kuiden liikkeitä, Riccioli, Hevelius ja monet muut Kuun pinnanmuodostusta huomattavasti perusteellisemmin kuin Galilei. Kenelläkään näistä ei kuitenkaan ollut sellaista suorastaan metafysisistä vakaumusta tekemiensä havaintojen merkityksestä maailmankaikkeuden oikean rakenteen ymmärtämisen kannalta kuin Galileilla oli. Havaintojen luonteva sijoittuminen uuden maailmankuvan puitteisiin asettaa Galilein havaitsevana tähtitieteilijänä erikoisasemaan aikalaistensa joukossa. Tämä juuri tekee Tähtimaailman sanansaattajankin historiallisesti tärkeäksi ja tänä päivänäkin tutustumisen arvoiseksi teokseksi.

LÄHDEVIITTAUKSIA

- [1] Berry, A.: *A Short History of Astronomy* – Dover, New York 1961 (jälleenpainos v. 1898 julkaistusta teoksesta).
- [2] Boas, M.: *The Scientific Renaissance 1450–1630* – Collins, London 1962.
- [3] Drake, S.: *Discoveries and Opinions of Galileo* – Doubleday, New York 1957.
- [4] Freiesleben, H.C.: *Galilei als Forscher* – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1968.
- [5] Galilei, G.: *Sidereus Nuncius, Nachricht von neuen Sternen* (Herausgegeben und eingeleitet von H. Blumenberg) – Insel, Frankfurt am Main 1965.
- [6] Galilei, G.: *Dialogue Concerning the two Chief World Systems* (translated by S. Drake) – University of California Press, Berkeley and Los Angeles 1955.
- [7] Grant, R.: *History of Physical Astronomy* – Johnson Reprint Corp., New York and London 1966 (jälleenpainos v. 1852 julkaistusta teoksesta).
- [8] Hall, A.R.: *The Scientific Revolution* – Beacon Press, Boston 1956 (1. painos 1954).
- [9] Ketonen, O.: *Suuri maailmanjärjestys* – Otava, Helsinki 1948.
- [10] Nagels *Enzyklopädie-Reiseführer: Der Mond* – Nagel, Genf, München, Paris 1970.
- [11] Pannekoek, A.: *A History of Astronomy* – Allen and Unwin, London 1961.

YRJÖ VÄISÄLÄ Ursan kunniajäsen

Tauno Honkasalo



Heinäkuun 21 päivänä 1971 kuoli Ursan perustaja, akateemikko Yrjö Väisälä kesäaunollaan Rymättylässä. Tähtitieteen ja optiikan alalla maailmanmaineen saavuttaneen tutkijan työteliäs elämä katkesi kesken. Vaikka hän kuollessaan oli lähes 80-vuotias, hän oli viime hetkeensä saakka vireä ja luomisvoimainen.

Yrjö Väisälä syntyi Kontiolahdella 6.9.1891 sahan kasöörin Johannes Veisellin poikana. Kiinnostus luontoon oli ilmeisesti sekä isältä perittyä että kotona opittua. Jo koulupoikana Yrjö Väisälä innostui tähtitieteeseen ja matematiikkaan niin, että koulun käynti ”jäi sivutyöksi”. Kun hän ylioppilaaksi tultuaan rupesi opiskelemaan tähtitiedettä, hän töihinpääsykuulustelussa hämmästytti opettajaansa, professori Anders Donneria kertoessaan, minkälaisia mittaus- ja havaintotöitä hän omatekoisilla kojeilla oli tehnyt. Kiittäessään siitä kunnianosoituksesta, jonka Väisälä hänelle teki antaessaan ensimmäiselle löytämälleen uudelle pikku planeetalle, jonka rata voitiin tarkkaan määrittää, v. 1937 nimen Donnera, muisteli valtioneuvos Donner sitä töihinpääsykuulustelua, joka täytti tähtitieteen cum laude -kurssin loppukuulustelun vaatimukset. Toisen opiskeluvuoden syksyllä Väisälästä tulikin ylimääräinen tähtitieteen assistentti ja seuraavana vuonna v.t. observaattori. Tästä laskien hänen tähtitieteellinen tutkimustyönsä jatkui yli 60 vuotta.

Observaattorin työllä oli Yrjö Väisälän tulevalle kehitykselle hänen omien

sanojensa mukaan suuri merkitys. Hänen oli havaintotyössään pyrittävä mahdollisimman suureen tarkkuuteen. Ensimmäinen tieteellinen julkaisu, joka koski leveysasteen vaihtelun mittausta Helsingissä tähtihavainnoilla ensimmäisessä vertikaalissa, on päivätty lokakuussa 1912. Se oli siis lähtöisin juuri 21 vuotta täyttäneen nuoren tutkijan kynästä.

Yliopistollisen loppututkinnon jälkeen saatu ensimmäinen varsinainen työpaikka, henkivakuutusyhtiö Suomen apulaismatemaatikkona ei maisteri Väisälää ollenkaan miellyttänyt. Hän käyttikin kaikki vapaa-aikansa tähtitieteen ja optiikan harrastamiseen. Ensimmäinen itse tehty peiliteleskooppi syntyi 1916–1918.

Kun Geodeettinen laitos 1918 perustettiin, siirtyi Väisälä valtioneodeetiksi, vaikka palkka putosikin melkein puoleen. Nyt hän kuitenkin pääsi kokonaan tutkimustyöhön. Optiikan harrastus jatkui uudenkin työn ohessa. Hiotun suuren kaukoputken peilin tutkiminen johti uuden menetelmän keksimiseen. Linssit tutkittiin siihen aikaan tavallisesti Hartmannin tai sitä yksinkertaisemmalla Commonin esittämällä keinolla. Jälkimmäisen tarkkuutta rajoitti kahdesta reiästä tulevien valonsäteiden taipumisinterferenssi. Väisälä totesi, että näiden teräväpiirteisten viivojen paikan voi tarkasti mitata. Tämä toteamus johti pitkään pohdiskeluun interferenssi viivojen hyväksikäytöstä. Niinpä sitten Väisälä kehittäikin tästä häiritsevistä tekijästä uuden entisiä paljon tarkemman linssien ja peilien tutkimiskeinon. Tästä tutkimuksesta syntyi myös opinnäyte. Kahden, kolmen ja neljän raon keinoa sekä objektiivin hyvyyden arvostelemista teknisten vakioiden avulla käsitteli Väisälä v. 1922 ilmestyneessä väitöskirjassaan. Siinä osoitetaan, että objektiivin hyvyyden määrää valon aaltopinnan keskipoikkeama sille suunnitellusta pinnan muodosta.

Syksyllä 1923 Väisälä siirtyi hoitamaan Turun Yliopiston fysiikan professorin virkaa. Hänet nimitettiin vakinaiseksi joulukuussa 1924. Hänen kiinnostuksensa tähtitieteeseen oli niin suuri, että hän jo kevätlukukaudella 1924 kanslerin luvalla luennoi myös ”pallotähtitieteen alkeita” ja johti niihin liittyviä harjoitustöitä. V. 1927 alusta perustettiin Turun Yliopistoon myös tähtitieteen professorin virka. Kun Yliopistolla ei ollut varoja palkata virkaan vakinaista hoitajaa, Väisälä hoiti pienestä korvauksesta tätä virkaa oman toimen ohella niin pitkän ajan kuin 35 vuotta. Nuoren Turun Yliopiston opiskelijat saivat näin mahdollisuuden opiskella myös tähtitiedettä. Suurin osa kojeista ja laitteista valmistettiin Yliopiston laboratoriossa itse. Pian Turun Yliopistolla olikin ajanmukaisemmat ja paremmat kaukoputket kuin Helsingin Yliopistolla. Väisälän optinen laitos sai pian kansainvälistä mainetta. Siellä tehtiin monta optiikan keksintöä ja hiottiin laitteita, joihin kuuluiusitkaan tehtaat eivät pystyneet.

Väitöskirjatutkimus johti välittömästi toiseen suureen keksintöön, kun Väisälä totesi, että hän linssien tutkimuksissaan oikeastaan vertaa melkein

samanpituisia matkoja keskenään hyvin suurella tarkkuudella. Useita vuosia kestäneen kehittäelytyön tuloksena syntynyt valoninterferenssikomparaattori julkaistiin lopullisessa muodossaan 1929. Jo ensimmäisessä tätä koskevassa julkaisussaan 1923 hän oli päässyt fyysikkoja hämmästyttävään tulokseen: valoninterferenssiin 80 m matkalla. Käytännön fyysikkona Väisälä tajusi, ettei kenttäkäyttöön tarkoitettussa mittauskojeessa voi lähteä suoraan valoaaltoon. Näin voidaan tehdä vain laboratoriossa. Siten syntyi Väisälän kvartsimetrisarja, josta useita on verrattu kansainvälisen metrin perustana olevaan valonaaltoon.

Geodeettisen laitoksen toimesta on Väisälä-komparaattorilla vuosina 1947–1969 mitattu seitsemän kansainvälistä normaaliperusviivaa (pituus 0.5–0.9 km) tarkkuudella $5 \cdot 10^{-8}$. Nämä ovat Suomen, Argentiinan, Hollannin, Länsi-Saksan, Itä-Saksan, Portugalin ja USA:n normaaliperusviivat.

Vasta nimetty nuori fysiikan professori Väisälä luennoi mielellään omalta keskeiseltä tutkimusalaltaan, siis optiikasta. V. 1924 hän luennoillaan esitti useita teleskooppikonstruktioita, joissa peilin antaman kuvan virheitä poistetaan käyttämällä ohutta korjauslasia peilin edessä. Korjauslasi hiotaan niin, että se hyvin vähän muuttaa sen läpi kulkevan valonsäteen suuntaa. Nämä konstruktioit jäivät julkaisematta, kun interferenssikomparaattorin kehittäminen vei kaiken huomion ja ajan. V. 1931 virolaissyntyinen tohtori Schmidt esitti oman teleskooppikonstruktion, jota on sanottu vuosisadan suurimmaksi kaukoputkikeksinnöksi. Tämä oli yksi Väisälän luennoillaan esittämä ratkaisu. Väisälä rakensi nyt 17 cm:n teleskoopin, jossa hän ei tyytynyt siihen, että tarkka kuva saadaan pallopintaa vastaan punstetulle filmille, vaan sijoitti omaan putkeensa korjauslinssin, joka oikaisee kuvapinnan tasoksi. Tämä onnistui niin hyvin, että jo vuotta myöhemmin, 1935, syntyi toinen puolen metrin läpimittainen Schmidt-Väisälä -teleskooppi.

Tämä uusi teleskooppi osoittautui erinomaiseksi kojeeksi oman aurinkokuntamme tutkimisessa. Väisälä keskittyikin pikkuplaneettatutkimuksiin. Uuden kaukoputken valovoima oli kuitenkin liian suuri. Ei voitu käyttää niin pikiä valotuksia, että pikkuplaneetta olisi kuvautunut viivana kiintotähtien pistemäisten kuvien joukossa ja siten ollut erotettavissa näistä. Tätä haittaa välttääkseen Väisälä valotti vain pari minuuttia ja sulki sitten kaukoputken puolen tunnin ajaksi. Ennen toista lyhyttä valotusta hän kiersi aivan vähän kaukoputkea deklinaatoruuvista. Näin menetellen kiintotähdet kuvautuivat kaksoispisteinä, mutta pikkuplaneetat tai komeetat vinona pisteparina. Väisälä nimitti tätä uutta menetelmää kaksoispistekeinoiksi.

Tämä keino osoittautui taas niin tehokkaaksi, että se johti uuteen keksintöön. Pikkuplaneettoja löytyi niin paljon, että ratalasku klassisella Gaussin-Encken keinolla vei liian paljon Väisälän ja hänen harvalukuisten apulaistensa aikaa. V. 1939 hän kehitti uuden laskumenettelyn, joka pudotti laskuajan murto-osaan entisestä. Tämä menetelmä on nyt yleisessä käytössä

ulkomaillakin. Pikkuplaneettoja löytyi Turussa todella paljon, vuosina 1942 ja 1943 jopa enemmän kuin kaikissa muissa maailman tähtitorneissa yhteensä. Kun otetaan Turun sääolosuhteet huomioon, on tämä todella kunnioitusta herättävä saavutus.

Helsingin ilmatorjuntatykkien leimahdukset palauttivat Turun tähtitorneissa sota-aikanakin työskentelevän Väisälän mieleen kokeet, joita hän Geodeettisessa laitoksessa teki, nimittäin kolmiomittauksen käyttäen tähtäskohteena ilmassa tapahtuvaa leimahdusta maanpinnalla olevan tornin asemesta. Monta tähän liittyvää ideaa Väisälä julkaisi lehdessään Tähtitaivas 1946, artikkelissa ”Maan toinen kuu”, ja vielä perusteellisemmin Suomalaisessa Tiedeakatemiassa samana vuonna pitämässään esitelmässä ”Tähtitieteellinen kolmiomittausmenetelmä”. Pääajatus tässä on se, että korkealla maanpinnan yläpuolella tapahtuva leimahdus valokuvataan tähtitaivasta vasten. Suunta leimahdukseen saadaan levyiltä mitatuksi tarkasti tähtikoordinaattijärjestelmässä. Jos vielä leimahdus hetki tunnetaan, voidaan myös maantieteellinen suunta tarkasti laskea. Menetelmällä on useita etuja klassiseen kolmiomittaukseen verrattuna. Kun leimahdus nostetaan tarpeeksi korkealle, päästään pitkiin tähtäksiin, jopa yli valtamerien tavanmukaisen 30–50 km asemesta, toiseksi, ilmakehän vaikutus on ratkaisevasti pienempi kuin klassisessa kolmiomittauksessa, ja kolmanneksi, mitattu suunta on rippumaton luotiviivasta.

Väisälän tähtikolmiomittausmenetelmää toteutetaan nykyisin koko maapallon käsittävissä mittauksissa satelliittien avulla, ja Geodeettinen laitos käyttää sitä oman maamme mittauksissaan säpälojen avulla nostettuja elektronisia salamalaitteita käyttäen.

Väisälän keksinnöistä on syytä vielä mainita suuri zeniittiputki. Maan navan liikkeitä koskevissa tutkimuksissa on tämä 7 m polttovälinen ja 40 cm aukkoisen kaukoputki, jonka pystysuuntaa ei mitata vesivään avulla vaan luotilangoilla, osoittautunut erääksi kaikkein tarkimmista koko maailmassa.

Väisälä nimettiin v. 1951 Suomen Akatemian jäseneksi erittäin huomattavien tutkimustulostensa perusteella.

Väisälä pyrki kaikissa tutkimuksissaan suureen yksinkertaisuuteen mutta siitä huolimatta äärimmäiseen tarkkuuteen. Vaikka hän kiistatta kuului sekä tähtitieteilijänä, geodeettina että metrologina maailman kärkijoukkoon, hän säilytti aina poikamaisen huumorinsa ja näytti leikittelevän tutkimustyössään.

Koulupoikana Y. Väisälästä tuli tähtitieteen harrastaja, ja sinä hän pysyi koko elämänsä ajan. Hänen kodissaan perustettiin ”Tähtitieteen harrastajain yhdistys Ursa”, ja kun hän siirtyi Turkuun, perusti hän sinne uuden yhdistyksen, ”Turun Ursan”. Varsin lukuisat amatööri tähtitieteilijät kysivät Väisälältä neuvoja, ja hän valmisti heille kaukoputkia tai niiden osia. Turun Ursan lehti ”Tähtitaivas” on meille kaikille tuttu, ja varmaan monet amatöörit ovat siitä saaneet ”kokeneen amatöörin” ohjeita.

V.A. HEISKANEN
Ursan kunniajäsen

R.A. Hirvonen



Lokakuun 23. päivän iltana 1971 saivat lähimmät ystävät kuulla, että professori V.A. Heiskanen oli päässyt kaipaamaansa ja hyvin ansaitsemaansa lepoon. Häntä hiljentyivät muistelemaan monet kiitolliset oppilaat ja työtoverit sekä Suomessa että joka puolella ympäri maapallon, jonka tutkimisesta tuli hänen varsinaisen elämäntehtävänsä.

Veikko Aleksanteri Heiskanen syntyi Rantasalmen, nykyisin Kangaslammin Harjurannalla vuonna 1895, oman äitinsä muistaman mukaan ”kuumana kesäpäivänä joskus Jaakonpäivän viikolla”. Syrjäiseltä paikkakunnalta oli vaikea saada lasta edes kasteelle, saati sitten opintielle. Pienen kotitilan ja suuren perheen nuorimpana jäsenenä hän sai kuitenkin työteliäiltä ja heränneiltä vanhemmiltaan henkisen ja hengellisen pohjakoulutuksen, joka kesti sille myöhemmin lasketun valtavan paineen.

Vasta perustetun, 14 kilometrin päässä sijaitsevan kansakoulun opettajan hartaiden kehoitusten perusteella lähetettiin pikku Veikko myös oppikouluun. Vuonna 1914 hän pääsi ylioppilaaksi Savonlinnan lyseosta ja suoritti sitten kolmessa vuodessa kandidaatintutkinnon hankkien korkeimman arvosanan peräti viiden erilaisen tieteen alalla. Itsenäisen Suomen ensimmäisissä maisterinvihkiäisissä hän oli ylivoimainen priimus.

Toimittuaan lyhyen aikaa Pietarin suomalaisen yhteiskoulun matematiikan opettajana sekä Meteorologisessa laitoksessa V.A. Heiskanen tavoitteli tutkijan

uraa tähtitieteen alalla, mutta sillä hetkellä kotimaa tarvitsi enemmän maanmittareita ja geodeetteja. Suomen Geodeettinen laitos oli nousemassa kansainväliseen maineeseen lähinnä sen periaatteen varassa, että jokaisen tutkijan oli otettava osaa kaikkiin käytännöllisiin tehtäviin ja saatava kokonaiskuva geodesian kaikista haaroista. Siihen aikaan oli kansainvälisen tutkimuksen tärkeimpänä tehtävänä uuden vertausellipsoidin vahvistaminen geodeettisten mittauksien pohjaksi. Heiskanen ensimmäiseksi pysyväksi saavutukseksi tuli virallisen painovoimakaavan päätermin johtaminen kerättyjen havaintojen pohjalta tasoituslaskun avulla. Tätä työtä varten oli havainnoista poistettava ensin näkyvien massahäiriöiden, vuorten ja valtameren vaikutus ottaen huomioon, että näitä häiriöitä kompensoi maanalainen näkymätön kerros ns. isostaattisen tasapainon periaatteen mukaan. Isostasian alalla tunnettiin kaksi erilaista hypoteesia, jotka geodeettisten mittauksien mukaan olivat molemmat yhtä luotettavia. Heiskanen kehitti vuonna 1924 valmistuneessa väitöskirjassaan vähemmän käytettyä hypoteesia, joka ehkä ”talonpoikaisjärjen” mukaan tuntui luonnollisemmalta. Vasta paljon myöhemmin maanjärstysaaltojen ja räjähdyskokeiden tutkimus osoitti hänen valintansa ratkaisevalla tavalla hedelmällisemmäksi.

Siirryttyään vuonna 1928 hoitamaan Teknillisen korkeakoulun geodesian professorin virkaa Heiskanen keskittyikin oppilaineen lähinnä isostasian alaan kuuluviin tutkimuksiin. Vuonna 1936 hänen johtamansa työryhmä sai Kansainvälisen Isostaattisen laitoksen nimen ja aseman, vaikkakin sen työtä oli rahoitettava enimmäkseen henkilökohtaisten stipendien avulla. Vuonna 1949 hänet nimitettiin Geodeettisen laitoksen johtajaksi. Kaukonäköisen hallituksen suostumuksella hän kuitenkin toimi enemmän Ohion valtion yliopistossa, jossa hän sai kansainväliselle tutkimustyöllelleen varmemman taloudellisen pohjan sekä synnyinmaalleen laajempaa arvontoa. Hänen sinne perustamaansa keskuksen kutsuttiin kaikkialta maailmasta – ei vähiten Suomesta – lyhyemmäksi tai pitemmäksi aikaa ansioituneimmat vanhat ja lupaavimmat nuoret tutkijat. Heidän vierailunsa koitui aina molemminpuoliseksi hyödyksi. Eräs amerikkalainen työtoveri sanoi myöhemmin: ”Ilman Heiskanen johtamia tutkimuksia emme olisi saaneet miestä kuuhan.”

Paitsi sitä, että isostaattisen tutkimuksen alalla Heiskanen perusti oikean koulukunnan, hän teki uranuurtajan työtä koko geodeettisen alan opetuksen alalla. Teknillisen korkeakoulun opettajana ja maanmittausosaston johtajana hän kiinnitti erityistä huomiota oppikirjojen laatimiseen ja kenttäharjoitusten järjestämiseen. Ohion valtion yliopistossa hänen johdollaan ovat väitelleet tohtoreiksi useat nykyaikaisen geodesian huomattavimmista eri maita edustavista tutkijoista. Yhdessä F.A. Vening Meineszin ja Helmut Moritzin kanssa hän kirjoitti kaksi englanninkielistä oppikirjaa fyysikaalisen geodesian alalta.

Heiskanen ei suinkaan unohtanut ”ensi rakkauttaan”, tähtitiedettä. Varhain aamulla ennen varsinaisia virkatehtäviään hän kirjoitteli laajaa tähtitieteen oppikirjaa, joka toisessa laitoksessaan paisui kaksiosaiseksi. Tätä kirjaa laatiessaan hän ajatteli Suomen kansan tiedonnälkää yhtä paljon kuin niitä harvoja ylioppilaita, jotka tätä kirjaa todella tarvitsivat.

Yhdessä lankonsa Yrjö Väisälän kanssa Heiskanen oli mukana perustamassa ”Tähtitieteen harrastajain yhdistystä Ursaa”, niinkuin sen ensimmäisessä virallisessa nimessä vaatimattomasti sanottiin. Heiskanen toimi Ursan puheenjohtajana 1921–27 ja 1937–47. Myöhemmin hänen aktiivinen toimintansa ulottui myös laajempiin aatteellisiin ja käytännöllisiin järjestöihin; niistä olivat tunnetuimmat Suomalaisuuden Liitto, Suomen Kulttuurirahasto ja Kristillisen Kulttuurin Liitto. Hän oli oman alansa kotimaisten ja ulkomaisten tieteellisten seurojen jäsen sekä useiden yliopistojen ja korkeakoulujen kunniaohrtori. Vuonna 1953 hän sai Vihurin säätiön korkeimman kunniapalkinnon ja vuonna 1967 Paavin Tiedeakatemian kunniamitalin.

Vaikka professori V.A. Heiskanen sai näin runsain mitoin tunnustusta ja kunnianosoituksia osakseen, hän pysyi aina pikku Veikkona, joka muisti kiittää henkisestä perinnöstään sekä vanhempiaan että kansansa sukujuuria. Vaikka hän oli suorittanut korkeimman arvosanan teoreettisessa filosofiassa, hän toi sekä tähtitieteen oppikirjassaan että lyhyemmissä kirjoituksissaan ja puheissaan esille henkilökohtaisen maailmankatsomuksensa siitä välittämättä, että ns. metafysiikkaa ei hänen aikanaan katsottu tiedemiehelle sopivaksi harrastukseksi. Viimeisinä vuosinaan, kun sallimus alkoi riisua häneltä hänen parhaita maallisia varusteitaan, hän sai välittömästi kokea, kuinka merkityksettömiä ne olivat siihen hengelliseen pääomaan verrattuina, jonka varassa hän oli aikoinaan lapsuudenkodistaan lähtenyt.

URSAN PUOLIVUOSISATAISTAIPALEELTA

Erkki Kääriäinen

Tähtitieteellinen yhdistys Ursa on päässyt kypsään miehuusikään täytettyään äskettäin viisikymmentä vuotta. Siksi on syytä sekä hyvän tavan mukaista esittää lyhyehkö katsaus seuran kuluneeseen toimintakauteen.

Ajatus tähtitieteellisen seuran perustamisesta lausuttiin ensi kerran julki tarkkaan sanoen joulukuun 12 p:nä 1917, siis heti Suomen tultua itsenäiseksi valtakunnaksi. Silloin maisteri YRJÖ VÄISÄLÄ kutsui tähtitiedettä harrastavia tuttaviaan kotiinsa perustamaan seuraa, jonka tarkoituksena oli tähtitiedettä harrastavien henkilöiden yhdistäminen Suomen uudessa tasavallassa ja heidän harrastuksensa tukeminen sekä edistäminen hankkimalla sopivaa kirjallisuutta ja havaintovälineitä. Tässä tilaisuudessa tiedetään olleen läsnä maisteri ja rouva Väisälän lisäksi maisterit MATTSSON ja FRÖBERG, toimittaja ILMARI KIVINEN ja ylioppilas UUNO PESONEN. Siinä päätettiin ryhtyä toimenpiteisiin tällaisen seuran perustamiseksi ja sääntöehdotus laadittiin kokouksessa tammikuun 18 p:nä 1918.

Välittömästi tämän jälkeen alkanut vapaussota keskeytti kuitenkin juuri alkuunpääsemäisillään olleen toiminnan. Se pääsi jatkumaan vasta kaksi vuotta myöhemmin, jälleen Yrjö Väisälän aloitteesta. Hänen kotonaan huhtikuun 20 p:nä 1920 pidetyssä kokouksessa perustettiin tähtitieteellinen seura, jonka toiminta kuitenkin toistaiseksi päätettiin rajoittaa yksityisiin puitteisiin tekemättä sitä vielä julkiseksi. Seuran nimi URSA vahvistettiin kokouksessa huhtikuun 17 p:nä 1921.

Talvikauden 1920–1921 kuluessa pidettiin useita kokouksia ja tähti-iltoja, joissa maisteri Väisälä esitteli sekä monia tekemiään tähtitieteellisiä kojeita että tähtitaivaan nähtävyyksiä rouva Väisälän toimiessa vieraanvaraisena emäntänä. Varojen mukaan hankittiin myös kirjallisuutta. Näin luetaan ”Kertomuksessa Ursan toiminnasta kokoukseen lokakuun 18 p:nä 1922 saakka”. Samassa kertomuksessa selostetaan edelleen, että syksyllä 1921 seuraan liittyi uusia innokkaita jäseniä – mainittakoon tässä vain nimet V.A. HEISKANEN ja MATTI WARÉN. Kokouksessa lokakuun 14 p:nä 1921 uskallettiin jo tehdä päätös seuran tekemisestä julkiseksi ja hankkia sille oma kokouspaikka muualta kuin maisteri Väisälän kotoa. Lehtori V.J. KALLION avulla saatiinkin kokoushuoneeksi Suomalaisen Lyseon fysiikan oppisali. Silloisen sihteerin maisteri Uuno Pesosen kertomus päättyy tältä kohdalta mainintaan, että vanhan eli n.s. pikku-Ursan vuosikokous pidettiin uudessa kokouspaikassa marraskuun 2 p:nä 1921. Silloin valittiin ensi kerran sääntöjen mukaiset toimihenkilöt ja toiminta muuttui yksityiseltä pohjalta julkiseksi. Tällä

perusteella mainittu marraskuun toinen päivä on otettu Ursan viralliseksi syntymäpäiväksi. Seuran nimenä oli Tähtitieteen Harrastajain Yhdistys Ursa vuoteen 1943, jolloin se sääntöjen muutoksen yhteydessä muutettiin nimeksi Tähtitieteellinen Yhdistys Ursa. Myöhemmin on seuran sääntöjä uudistettu vuosina 1956 ja 1967.

Sääntöjen mukaan seuran jäsenistön muodostavat vuosijäsenet, vakinaiset jäsenet, kunniajäsenet ja paikallisosastot. Pääosa jäsenistä on tietenkin vuosijäseniä. Vakinaiseksi jäseneksi voi Ursan hallitus kutsua henkilön, joka on tehnyt yhdistykselle huomattavia palveluksia, sellaiseksi siirretään myös vuosijäsen, joka on suorittanut jäsenmaksunsa 20 perättäisenä vuotena tai maksanut kertakaikkisen 15-kertaisen vuosijäsenmaksun. (Vuoden 1974 vuosikokouksessa hyväksytyn sääntömuutoksen mukaan uusia vakinaisia jäseniä ei enää hyväksytä. Paikallisosastojen Ursan hallituksen kehotuksesta itsenäistyttyä on koko paikallisosastojärjestelmästä sääntömuutoksessa luovuttu. On katsottu, että paikalliset yhdistykset voivat toimia paremmin kokonaan itsenäisinä. Sääntömuutoksesta on enemmän Tähti-aika-lehdessä 1/74. — *toim. huom.*) Kunniajäseneksi hallitus voi kutsua yhdistyksen tarkoituksella erityisen ansiokkaasti edistäneen henkilön. Kunniajäseniksi on kutsuttu v. 1924 prof. ERNST BONSDORFF, v. 1926 prof. ANDERS DONNER, v. 1934 prof. ILMARI BONSDORFF, v. 1941 prof. YRJÖ VÄISÄLÄ, v. 1948 prof. V.A. HEISKANEN ja v. 1965 prof. PENTTI KALAJA.

Ursalla on ollut ilo saada hallituksensa jäseniksi uskollisia ja pitkä-aikaisia työntekijöitä aina v:n 1967 sääntöuudistukseen asti, jolloin hallituksen jäsenet alettiin valita määrääjäksi, kolmeksi vuodeksi kerrallaan. Ursan puheenjohtajina ovat toimineet prof. V.A. HEISKANEN v. 1921–27 ja 1937–47, prof. ILMARI BONSDORFF v. 1927–37, tohtori EYVIND SUCKSDORFF v. 1947–56, prof. PENTTI KALAJA v. 1956–1964, prof. JAAKKO TUOMINEN v. 1964–1970, prof. RAIMO LEHTI v. 1970–71 ja 1971–1973 lis. TAPIO MARKKANEN. Varapuheenjohtajat ovat olleet lehtori V.J. KALLIO v. 1921–28, kouluneuvos NIILLO KALLIO v. 1928–49, prof. PENTTI KALAJA v. 1949–56, prof. R.A. HIRVONEN v. 1956–1964, prof. ERKKI KÄÄRIÄINEN v. 1964–69. Ursan sihteereinä ovat olleet maisteri UUNO PESONEN v. 1921–22, maisteri E. SUCKSDORFF v. 1922–24, maisteri WALDEN v. 1924–25, tohtori V.R. ÖLANDER v. 1925–26, lehtori V.O. LAINE v. 1926–27, prof. V.A. HEISKANEN v. 1927–29, prof. PENTTI KALAJA v. 1929–49, prof. ERKKI KÄÄRIÄINEN v. 1949–64, lis. ERKKI HYTÖNEN v. 1964–70 ja 1970–72 yo ANTTI JÄNNES. Näiden mainittujen lisäksi esiintyy hallituksen jäsenten luettelossa m.m. nimet maisteri JÄÄMAA, prokuristi RAITA, prof. G. JÄRNEFELT, tri M. NURMIA, kapt. A.J. SAARI, tri S. von NUMERS, eversti evp. L. HIISI, dipl.ins. H. TUORI ja kommodori S. ENKIÖ.

Ursan paikallisosastot olivat läsenyhtymiä, joita on syntynyt eri paikkakunnille jonkun vireän toimihenkilön aloitteesta. Niiden jäsenet olivat Ursan jäseniä, mutta osastot toimivat itsenäisesti omilla toimipaikoillaan. Paikallisosastoja on ollut kaikkiaan yhdellätoista paikkakunnalla, v. 1971 oli toiminnassa seuraavat neljä: Mikkelin, perustettu v. 1923, Lahden, perustettu v. 1948, Tampereen järjestyksessä toinen, perustettu v. 1950 ja Lohjan, v. 1954 perustettu paikallisosasto. Professori Väisälän siirryttyä Turkuun hän tietenkin perusti sinne paikallisosaston, joka itsenäistyi Turun Ursan nimellä v. 1929. Paikallisosastojen toimihenkilöistä on tässä mainittava Mikkelissä lehtorit LYYLI HEINÄNEN, ARMAS IKONEN ja URPO KOKKI, Lahdessa rovasti VARJOVAARA ja kouluneuvos EDLA KOJONEN sekä rautatie- ja postivirkailijat A. MERIKARA ja P. LAITINEN sekä ekonomi PERTTI REIJONEN, Tampereella rehtori E. LÄHTEENMÄKI, lehtori A. KANNISTO, dipl.ins. MARTTI KYRÖLÄ ja dipl.ins. ANTTI LINNA ja Lohjalla varastopäällikkö A. TOLONEN. Kaikki he ovat suorittaneet varsin merkittävän työn kukin oman paikallisosastonsa hyväksi. Paikallisosastojen jäsenmäärä oli v. 1971 noin kolmasosa Ursan noin kahdeksaansataan nousseesta jäsenten lukumäärästä.

Miten Ursa sitten on toiminut ja mitä on aikaansaatu? Ensimmäisiä tavoitteita oli tietenkin oman tähtitornin saaminen Helsinkiin. Viiden vuoden kuluttua yhdistyksen perustamisesta tähtitorni seisoikin paikallaan Kaivopuistossa, tosin suureksi osaksi lainavaroin rakennettuna. Tornin vihkiäiset pidettiin marraskuun 20 p:nä 1926. — Ilolla on todettava, etteivät paikallisosastot ole tässä suhteessa jääneet pääosastoa huonommiksi, sillä 1950-luvulla rakensivat myös paikallisosastot omat tähtitorninsa. Mainittakoon lisäksi, että oma tähtitorni on myös Kuopion Saturnus-kerholla, Jyväskylän Sirius-yhdistyksellä, Oulun Arktos-yhdistyksellä ja Karjaan Natura-seuralla, ehkä heräte näidenkin syntymiseen on lähtöisin Ursan piiristä! Tähtitornien aikaansaaminen on ollut kaikkialla sitkeän työn tulos, nimenomaan taloudellisten vaikeuksien vuoksi. — Näiden tähtitornien merkitystä harrastuksen herättäjänä ja ylläpitäjänä tuskin voidaan yliarvioida. Ovathan ne kukin paikkakunnallaan ainoat paikat, joissa jäsenten lisäksi myös yleisöllä ja kouluilla on tilaisuus tähtitaivaan tarkkailemiseen kunnollisilla välineillä.

Toinen tärkeä toimintamuoto on ollut yleiset kokoukset, joita on pidetty vuosittain 3–5 kertaa. Kussakin kokouksessa on kuultu yleensä pari esitelmää mitä erilaisimmista aiheista tähtitieteen ja sen sisätieteiden aloilta, myös ulkomaalaisten tiedemiesten pitäminä ja suomeksi tulkittuina. Kokoukset pidettiin 1920-luvulla yleensä Suomalaisella Lyseolla, 1930-luvulla Tieteellisten Seurojen talolla ja sen jälkeen Metsätalossa. Esitelmien johdosta on keskusteltu ja eritoten 1950-luvulla oli tapana jatkaa keskustelua jossakin viihtyisässä ravintolassa ruoan ja juoman parissa. Tavallisesti siellä kuultiin ainakin

vuosikokouksien jälkeen myös taiteilija Matti Warénin verraton, viime kiireessä laatima Agricolan-kielinen kronikka viime aikaisista tapahtumista Ursan piirissä.

Merkittävän avun jäsenilleen on Ursa tarjonnut myös kirjastonsa avulla, joka on ollut jäsenten vapaasti käytettävissä. Siihen on pyritty hankkimaan kaikki suomenkielillä julkaistu tähtitieteellinen kirjallisuus ja varojen mukaan sellaisia vieraskielisiä julkaisuja, joiden on arveltu kiinnostavan ursalaisia. Kirjasto käsittää nykyisin n. 600 nidettä kirjoja ja parisataa vuosikertaa aikausjulkaisuja.

Ursa on harrastanut myös omaa julkaisutoimintaa. Albumia ”Tähtitiedettä harrastajille” on tämä teos mukaanluettuna julkaistu viisi nidosta, joista aikaisemmat ovat ilmestyneet vuosina 1926, 1938, 1954 ja 1965, ”Tähtitieteen harrastajan kirja” v. 1947 sekä v. 1966 J.M. Heikinheimon kirjoittama ”Teemme peilikaukoputken”.

Vuonna 1971 Ursa alkoi julkaista omaa jäsenlehteä ”Tähtiaika”, joka ilmestyy neljä kertaa vuodessa. – Turun Ursa on vuodesta 1942 lähtien julkaissut vuosittain numeron ”Tähtitaivas”-lehteä, joka on toimitettu Ursan jäsenille samoin kuin Valtiokalenterin kalendaario-osa jo lähes parinkymmenen vuoden ajan.

Ursan muusta toiminnasta kuluneella puolivuosisataiskaudella mainittakoon sen järjestämät tähtitieteellisten filmien esitykset 1930- ja 1940-luvuilla, sen suorittama laaja ja monipuolinen neuvontatyö, sen organisoimat tähdenpeitto- ja tähdenlento havainnot. Viime vuosina on saatu tiloja myös ohjatulle harrastajatoiminnalle, joten nimenomaan nuorten harrastajain mahdollisuudet ovat nykyisin entistä paremmat. Unohtaa ei sovikaan sitä sitkeyttä ja sisua vaativaa työtä, jota monet ursalaiset ovat suorittaneet rakentaessaan itse havaintovälineensä ja toimiessaan siten koulumestarina omalle ympäristölleen.

METSÄHOVIN OBSERVATORIO

Tapio Markkanen

ALKUVAIHEET

Helsingin yliopiston observatorio on rakennettu vuonna 1834 yliopiston siirryttyä Turun palon jälkeen Helsinkiin. Vanhojen, historiallisesti arvokkaiden havaintovälineiden lisäksi laitoksella on viime vuosiin saakka ollut käytettävissä kaksi teleskooppia joilla voidaan tehdä hyödyllisiä havaintoja: vuonna 1890 hankittu kaksoisrefraktori ja 1949 valmistunut anastigmaattinen valokuvaus-teleskooppi.

Vuosien mittaan lisääntynyt valaistus sekä ilman pöly ja savu ovat tehneet uusien havaintolaitteiden hankkimisen kaupungin keskellä sijaitsevaan observatorioon epätarkoituksenmukaiseksi.

Aktiivisesta havaintotoiminnasta vieraantumisen ja yksinomaan teoreettisiin töihin keskittyminen ei ole kuitenkaan terveellistä millekään tähtitiedettä tutkivalle laitokselle. Tämän vuoksi aloitettiin vuonna 1967 uuden observatorion ja teleskoopin suunnittelu.

Uuden observatorion paikan valinnassa oli otettava huomioon seuraavia seikkoja: Havaintoaseman on oltava niin kaukana Helsingin ja sen ympäristön teollisuus- ja asutuskeskuksista ettei niiden savu ja valaistus häiritse työskentelyä. Observatorio ei samoista syistä saa olla suuren liikenneväylän välittömässä läheisyydessä. Toisaalta sen on oltava niin lähellä kaupunkia että sinne voidaan mennä kun todetaan sään olevan illalla selkeä. Suomen ilmasto-olosuhteissa ei voi ajatellakaan observatoriota sijoitetuksi satojen kilometrien päähän varsinaisesta laitoksesta: kun sinne matkustaa pari viikoksi tekemään havaintoja, voi koko ajanjakson sataakin lunta.

Helsingin yliopiston omistama, Kirkkonummen Evitskogin kylässä sijaitseva Metsähovin tila täyttää melko hyvin asetetut vaatimukset. Alue sijaitsee laajan, pienten järvien täplittämän maaston keskellä, eikä sitä ole tarkoitus kaavoittaa rakennusalueeksi. Matkaa Helsingistä kertyy noin 45 km, mistä runsaat 30 km joutuisaa kestopäällystetietä.

Metsähovissa on harjoitettu tähtitieteellistä havaintotoimintaa jo aikaisemminkin. Helsingin yliopiston radioastronominen havaintoasema on toiminut siellä jo vuodesta 1963 lähtien, ja nykyisin myös teknillisen korkeakoulun radiolaboratorion radioastronominen toiminta on keskittynyt sinne.

Tehty aloite kehittyi suotuisasti, ja valmistelutöiden jälkeen teleskooppi tilattiin maaliskuun alussa 1970. Rakennustöihin ryhdyttiin seuraavana syksynä.



Kuva 1. Metsähovin observatorio sijaitsee kauniissa mäntymetsikössä. Puusto hidastaa maanpinnan lämpiämistä auringonpaisteella ja yöllä lämmön siirtymistä maasta ilmaan. Tämä vähentää observatoriota ympäröivän ilman väräilyä ja parantaa siis havainto-olosuhteita. Kaukoputki on yläkerrassa kupolin alla, osa alakertaa on lämmin. – Valok. Matti Kajantie.

OBSERVATORIORAKENNUS

Insinööri Martti Ojalan piirtämä observatorio sijaitsee matalakasvuisen mäntymetsän ympäröimänä kallionnyppylällä noin 60 m korkeudella merenpinnasta.

Rakennuksella on monta tehtävää: Sen on suojattava teleskoopin lisäksi nykyaikaiseen havaintotekniikkaan välttämättä kuuluvaa elektronista mittalaitteistoa. Paikalla on oltava myös valokuvauslaboratorio, ja havaitusijoiden on voitava yöpyä havaintoasemalla.

Alakerrassa on muusta rakennuksesta huolellisesti eristetty osa jota voidaan sähköllä lämmittää havaintoja haittaamatta. Tähän lämpimään osaan kuuluu laboratorio, jota käytetään myös keittiönä, työhuone johon mittalaitteiden pääosa on sijoitettu ja jossa voi yöpyä, sekä käymälä joka hävittää jätteet sähköllä.

Eteisen katossa on lämpöeristetty, kaksinkertainen luukku jonka kautta tavaroita voidaan nostaa taljalla yläkerran havaintotasolle.

Tuulikaapista portaat johtavat havaintokerrokseen, jossa teleskooppi sijaitsee. Havaintotilan kattaa kupoli, jonka halkaisija on seitsemän metriä. Teräs- ja puurunkoisen kupolin sisäverhous on puuta, sen ulkopinnalla on bitumihuopaeristys ja uloimpana alumiinipelti. Havaintoaukon vapaa leveys on kaksi metriä. Sen kaksiosaiset luukut siirtyvät sivulle ja kiinni kammesta vääntämällä. Kupolia voidaan kääntää joko sähkömoottorin tai käsipyörän avulla.

Havaintokerroksen ilma voidaan nopeasti vaihtaa kahden sähkötuulettimen avulla, jotka tarvittaessa pidetään jatkuvasti käynnissä. Näin kupolin lämpötila on jo havaintoja aloitettaessa mahdollisimman lähellä ulkoilman lämpötilaa, ja siis lämpimämmän ilman ulosvirtauksen aiheuttama tähden kuvan väräily vähenee.

Teleskooppi seisoo lieriömäisen, 365 cm korkuisen, 150 cm läpimittaisen, kallioon ulottuvan teräsbetonipylvään päässä. Sen seinämän paksuus on 20 cm. Pylväs ei lainkaan kosketa ympäröivään rakennukseen. Tällä observatorioissa yleisesti käytetyllä tavalla vältetään esimerkiksi tuulenpuuskien, kupolin kääntämisen, kävelemisen ja ovien sulkemisen rakennukseen aiheuttamien heilahdusten ja värinän siirtyminen kaukoputkeen.

TELESKOOPIN OPTIIKKA

Metsähovin ranskalaisvalmisteisessa teleskoopissa on niin sanottu Ritchey-Chrétien-optiikka. Se muistuttaa paljon klassillista Cassegrain-systeemiä: molemmissa on kovera pääpeili ja kupera apupeili joka heijastaa kuvan pääpeilissä olevan reiän lävitse kaukoputken taakse. Erona on kuitenkin se että Cassegrain-systeemin pääpeili on paraboloidi ja apupeili hyperboloidi, kun taas Ritchey-Chrétien-systeemissä molemmat ovat tarkoin määrättyjä hyperboloidia.

Ritchey-Chrétien-systeemi on saanut nimensä seuraavasti: Chrétien esitti sen teorian vuonna 1922, ja Ritchey pystyi ensimmäisenä valmistamaan poikkeuksellisen vaikeat pinnat. Nykyisin optiikan testaustulokset voidaan nopeasti analysoida tietokoneella ja samalla myös laskea, kuinka pintojen muotoilua on edelleen jatkettava. Siksi Ritchey-Chrétien-systeemi on vasta viime vuosina tullut suosituksi pitkäpolttovälisten peilikaukoputkien optiseksi ratkaisuksi.

Ritchey-Chrétien-optiikan etu klassilliseen Cassegrain-järjestelmään verrattuna on ettei sen kuvassa ole komaa eikä palloaberraatiota. Astigmaattisuus ja kuvapinnan kaarevuus määräävät käyttökelpoisen kuva-alan. Sitä voidaan edelleen lisätä joko taivuttamalla valokuvauslevy kuvakentän kaarevuuden



Kuva 2. Metsähovin 60 cm Ritchey-Chrétien-teleskooppi. Teleskooppi seisoo betonipylvään päässä. Kallellaan oleva tuntiakseli on Maan akselin suuntainen. Akselin alapäästä vasemmalle näkyy kaukoputkea tasapainottava vastapainolaatikko. Mittalaitteita vaihdettaessa kaukoputki voidaan nopeasti tasapainottaa uudelleen siirtämällä tai lisäämällä deklinaatioakselin jatkeella olevaan ristiin asetettuja apupainoja. Ohjaukaukoputki näkyy teleskoopin oikealla sivulla. Kun havainnot aloitetaan, putkien kannet poistetaan. Pääpeilin kehysten takapintaan on kiinnitetty fotometri-polarimetri. Ohjaus- ja korjausliikunnot hallitaan kehysten korvasta riippuvalla ohjausrasialla. – Valok. Matti Kajantie.

mukaiseksi, tai vielä enemmän asettamalla kuvan eteen pieni korjauslinssi tai -linssipari sekä astigmaattisuutta että kuvapinnan kaarevuutta korjaamaan.

Metsähovin teleskoopin objektiivipeilin läpimitta on 60 cm ja polttoväli 180 cm. Kupera, 21 cm läpimittainen apupeili antaa systeemille 480 cm tehollisen polttovälin joten teleskoopin aukkosuhde on 1:8. Kaukoputken polttoväli määrää kuvan mittakaavan, ja niinpä Metsähovin teleskoopin kuvapinnalla noin 84 mm pituinen jana vastaa yhden asteen mittaista isoympyrän kaarta.

Kahden peilin antaman virheettömän kuva-alan halkaisija on 26 mm eli 0.3. Kuitenkin vielä 100 mm läpimittainen kuva on moniin tarkoituksiin käyttökelpoinen (kuva 3). Virheetöntä kuva-alaa voidaan huomattavasti lisätä asettamalla korjauslinssi välttämättä kuvapinnan eteen.

Sekä pää- että apupeili on valmistettu lasista jonka pituuden lämpötilakerroin on samaa luokkaa kuin esimerkiksi Pyrexin. Pääpeilin keskellä olevan reiän halkaisija on 10 cm. Molemmat peilit on aluminoitu ja päällystetty ohuella kvartsikerroksella joka suojaa aluminointia niin että sen uusiminen on normaalisti tarpeen ehkä kerran kymmenessä vuodessa.

PUTKI

Pääpeili on kehyksessä joka tukee vastapainojen avulla peiliä niin ettei se pääse oman painonsa takia muuttamaan muotoaan eikä asentoaan, kun teleskooppia suunnataan taivaan eri puolille.

Apupeilin kehys on kiinnitetty putkeen nelisakaraisella kannattimella. Kuva tarkennetaan – fokusoidaan – siirtämällä apupeiliä kauko-ohjattavalla sähkömoottorilla optisen akselin suunnassa.

Teleskoopin teräspeltisen putken poikkileikkaus on ympyrä ja pituus 160 cm; kaukoputki on siis varsin lyhyt. Polttopiste on 20 cm pääpeilin kehysten takana. Siirtämällä apupeiliä voidaan polttopistettä muuttaa runsaat 10 cm eteen- tai taaksepäin.

TELESKOOPIN PYSTYTYS

Niin kuin tähtikaukoputket yleensä, on Metsähovin teleskoopikin pystytetty ekvatoreaalisesti, mikä merkitsee että sen toinen akseli – tuntiakseli – on yhdensuuntainen maapallon akselin kanssa. Näin saavutetaan se etu että kaukoputkea tarvitsee kääntää vain tämän yhden akselin ympäri tähtien vuorokautisen kiertoliikkeen kompensoimiseksi, ja lisäksi kääntönopeus saa olla melko tasainen. Tosin teleskooppia on pitkien havaintojen aikana käännettävä hiukan myös toisen – deklinaatioakselin – ympäri ja vähän muutettava tuntiakselin kääntönopeutta pääasiassa laakereiden ja käyntikoneiston pienten valmistusvirheiden sekä ilmakehän aiheuttaman valon refraktion vuoksi.



Kuva 3. Perseuksen tähdistöissä näkyvä kaksoistähtijoukko Metsähovin 60 cm Ritchey-Chretien-teleskoopilla kuvattuna. Kuvauksessa ei käytetty korjauslinssiä, mutta alkuperäisellä levyllä tähtien kuvat ovat vielä kuva-alueen reunallakin melko hyvät. Valotusaika on yksi tunti, levyt Agfa Scientia. Negatiivilla erottuvat 17.5 suunuusluokan tähdet. – Valok. Tapio Markkanen.

Jalustan kiilamainen alusta seisoo kolmen jalan varassa teräsbetonipylvään päällä. Jalkojen säätöruuveilla koko jalusta voidaan asettaa niin että tuntiakseli on pohjois-etelä-suunnassa ja että sen ja vaakatason välinen kulma on yhtä suuri kuin paikan maantieteellinen leveys; silloin tuntiakseli on maan akselin suuntainen.

Tuntiakselin yläosa on 170 cm pituinen ja 47 cm läpimittainen lieriömäinen teräsputki, akselin alaosa on 70 cm pituinen kartio. Kartion

alapäässä on painelaakeri joka kantaa akselin suuntaisen kuorman. Kartion yläpäässä on laakerina 85 cm läpimittainen teräskiekko jonka sivu nojaa kahteen pienempään pyörään jotka on laakeroitu alustaan niin että niiden akselit ovat tarkasti yhdensuuntaiset tuntiakselin kanssa. Tämä laakeri kantaa tuntiakselia vastaan kohtisuoraan vaikuttavan kuorman.

Tuntiakselin yläpäähän on sitä vastaan kohtisuoraan laakeroitu deklinaatioakseli, jonka toiseen päähän teleskoopin putki on kiinnitetty.

Jotta teleskooppia voitaisiin helposti suunnata ja kevyesti kääntää, se on tasapainotettava akseliensa suhteen. Metsähovin kaukoputken varsinainen vastapaino ei olekaan deklinaatioakselin toisessa päässä kuten aikaisemmin yleisessä saksalaisessa pystytyksessä, vaan se on sijoitettu alemmaksi alustan lähelle. Deklinaatioakselin päässä on lisäksi kaksi ristikkäistä tankoa joita pitkin voidaan siirtää apupainoja. Niiden avulla teleskooppi voidaan nopeasti tasapainottaa kun siihen on vaihdettu uusi mittalaite, esimerkiksi fotometrin tilalle kamera.

Tuntiakselin pitkän yläosan ansiosta teleskoopin putken taakse jää laaja tila mittalaitteita ja apuinstrumentteja varten. Siten teleskooppiin voidaan kiinnittää melko suuriakin lisälaitteita.

TELESKOOPIN MEKAANINEN TOIMINTA

Metsähovin kaukoputkea suunnataan käsin, mikä onkin mukavinta kun teleskooppi on kevyt ja sen ulottuvuudet pienet. Akseleiden asentolukot aukeavat sähkökytkimen painalluksesta paineilmalla, joka saadaan pienestä kompressorista ja ilmasäiliöstä.

Tuntiakselin kääntymisnopeuden määrää sähköisessä piirissä värähtelevä termостоitu kide jonka antama taajuus, kymmenen miljoonaa jaksoa sekunnissa, pysyy hyvin tarkoin vakiona. Tämä taajuus voidaan elektronisesti jakaa niin että saadaan noin 15000 eri taajuutta 50:stä 200:aan jaksoon sekunnissa.

Jakamisen jälkeen vaihtojännite vahvistetaan ja ohjataan käyttämään kääntökoneistoa pyörittävää askelmootoria jonka pyörimisnopeuden määrää peräkkäisten sykästen saapumistaajuus. Kun tämä taajuus on 100 jaksoa sekunnissa, teleskooppi seuraa tähtiä melko tarkasti. Kiteen taajuuden jakomahdollisuuden ansiosta teleskoopille voidaan nyt valita yhden sadastuhannesosan tarkkuudella noin 15000 erilaista kohteenseurantanopeutta puolesta kaksinkertaiseen normaaliin nopeuteen verrattuna, joka puolestaan – refraktion vaikutuksesta – on hiukan hitaampi kuin yksi kierros tähtivuorokaudessa.

Kääntökoneiston vaihteisto on tavanomaisesta poikkeava: Askelmootori pyörittää kierukkavaihteen välityksellä 3.54 cm läpimittaista kovateräslieriötä. Lieriö puristuu aiemmin mainitun, tuntiakseliin kiinnitetyn 85 cm läpimittaisen

teräskiekon tarkasti hiottua reunaa vasten. Tuntiakselia pyöritetään siis kitkavälityksellä, yleisestihän tähän käytetään kierukkavaihdetta.

Kuten edellä on selostettu täytyy teleskooppia voida normaalin kohteenseurantaliikkeen lisäksi ajoittain hiukan kääntää sekä deklinaatio- että tuntiakselin ympäri. Sitä varten on käytettävissä ohjausrasia jonka pinnassa olevia nappeja painamalla saadaan kaukoputki joko edistämään tai jäämään jälkeen vuorokautisesta liikkeestä, jonka kulmanopeus on noin 15 kaarisekuntia aikasekuntia kohti. Kumpaankin suuntaan voidaan korjausliikuntanopeuksiksi valita kerrallaan kaksi seuraavista kulmanopeuksista: 45, 30, 15, 7.5, 3.75, 1.88 ja 0.94 kaarisekuntia aikasekunnissa.

Samoin teleskooppia voidaan liikuttaa sähköisesti deklinaatioakselin ympäri molempiin suuntiin runsaan kaariasteen verran ohjausrasian toisen painonappiparin avulla. Valittavissa ovat samat nopeudet kuin tuntiakselin korjausliikunnossakin. Kun kaukoputki suunnataan uuteen kohteeseen, s.o. deklinaatioakselin lukko avataan, kaukoputki siirtyy automaattisesti deklinaation korjausliikevaran keskelle.

Kaukoputkessa on myös valaistut lukemakehät joiden avulla se voidaan alustavasti suunnata. Rektaskensioympyrää voidaan kääntää akselillaan. Havaintojen alussa teleskooppi suunnataan johonkin kirkkaaseen tähteen jonka rektaskensio tunnetaan, ja käännetään ympyrää niin että tähden rektaskensio tulee osoittimen kohdalle. Tämän jälkeen ympyrä lukitaan akselille. Nyt kaukoputki voidaan suunnata uuteen kohteeseen kääntämällä teleskooppia kunnes osoitin näyttää kohteen rektaskensiota. Tuntikulmaa ei siis tarvitse laskea suuntausta varten. Kun kaukoputki on suuntaamisen ajaksi irroitettu seurantaliikkeestä, apukoneisto siirtää osoitinta niin ettei sitä tarvitse yön kuluessa korjata.

ETSIJÄ JA OHJAUSPUTKI

Teleskoopin suuntaamiseksi on pääputkeen kiinnitetty viisitoista kertaa suurentava linssikaukoputki jonka objektiivin aukko on 10 cm. Kun haettu kohde on etsijän valaistun lankaristikon takana, se näkyy myös ison kaukoputken kentässä.

Nykyisin tähtitieteilijät tekevät hyvin vähän silmähavaintoja. Yleensä kaukoputki toimii valon kokoajana erilaisiin mittaus- ja rekisteröintilaitteisiin kuten spektrografiin tai suoraan valokuvauslevylle. Jotta kohde voitaisiin koko ajan pitää mittalaitteen näkökentässä, Metsähovin kaukoputkeen on kiinnitetty pääputken kanssa yhdensuuntaisesti Cassegrain-teleskooppi jonka aukko on 25 cm ja tehollinen polttoväli 400 cm.

Tämän ns. ohjausputken okulaarissa näkyy valaistu lankaristikko jota voidaan mikrometriruuveilla siirtää polttopinnalla. Jos tutkittava kohde on niin

heikko ettei se näy ohjausputkessa, voidaan määrätä sen kulmaetäisyys jostakin kirkkaammasta tähdestä ja siirtää lankaristikkoo tämän kulmaetäisyyden verran. Kun nyt ohjausputken lankaristikko suunnataan kirkkaaseen tähteen, osuu heikkovaloinen kohde pääputken näkökentän keskelle.

Pääpeilin kehiksen takana on instrumenttipöytä mittausslaitteiden kiinnittämiseksi kaukoputkeen. Sitä voidaan kääntää teleskoopin optisen akselin ympäri ja lukea instrumentin positiokulma pöydän lukemakehältä.

MITTALAITTEET

Metsähovin kaukoputkeen kuuluu tilapäiskäyttöön soveltuva kamera, jota käytettiin teleskoopin optiikan kollimointiin ja tuntiakselin suuntaamiseen taivaan napaan. Monipuolisempi kamera on parhaillaan valmisteilla. Siihen kuuluu kaksilinssinen korjauslinssisysteemi jonka avulla saadaan 340 nm – 1000 nm aallonpituusalueella – siis ultravioletista infrapunaiseen saakka – virheetön kuva-ala jonka halkaisija on 1.02. Kuvauksen aikana kaukoputkea voidaan ohjata okulaarilla kameran, ja siis pääputken optiikan kautta.

Teleskooppi saapui valmistajalta elokuun lopussa 1971, ja sen kokoonpano ja säätö aloitettiin välittömästi. Kaukoputki koottiin kahdessa viikossa, säätötyöt valmistuivat helmikuun lopussa 1972. Työn loppuvaiheet veivät pitkän ajan, sillä ne edellyttivät selkeää säätä; edistyminen tarkastettiin luonnollisesti aina sekä visuaalisilla että valokuvauksellisilla tähtihavainnoilla. Testihavainnoissa voitiin lopuksi todeta säätötyön onnistuneen hyvin ja teleskoopin olevan sekä optisesti että mekaanisesti erinomainen ja helpokäyttöinen.

Keväällä 1972 valmistui myös sopivasti teleskoopin ensimmäinen varsinainen tutkimusväline: kotimaassa rakennettu fotometri-polarimetri. Laitteen on suunnitellut Vilppu Pirola Helsingin yliopiston tähtitieteen laitokselta. Instrumentilla mitataan kohteiden kirkkautta vaihdettavien suodattimien valittavilla aallonpituuskaistoilla. Fotometri mittaa samanaikaisesti taustataivaan kirkkauden, mikä Suomen havainto-olosuhteissa lisää huomattavasti tarkkuutta. Yhdellä kädenliikkeellä valonsäteen tielle työnnetään kahtaistaittava kalsiittilevy jolloin fotometri muuttuu polarimetriksi, so. laitteeksi jolla mitataan tulevan valonsäteen polarisaatioaste ja polarisaatio-suunta. Koje on fotometrinen korkealuokkainen ja polarimetrinen ilmeisesti tällä hetkellä maailman tarkin.

Kevät 1972 kului uuden instrumentin testihavaintoihin ja saman vuoden syksystä sitä on käytetty jatkuvasti tutkimustöihin. Vuoden 1973 loppupuolella sitä on täydennetty tulostusosalla joka on tehnyt tarpeettomaksi mittausarvojen ja laitteen asetusten muistiin kirjoittamisen käsin. Arvot lävistivät nyt reikänauhalle jonka tietokone lukee suoraan reduktiolaskuja

varten; lisäksi kirjoitin merkitsee ne paperille. Käytännöllinen ja ennenkaikkea havainnollinen pöytäkirja saadaan laitteeseen liitetystä analogiapiirturista. Reikänauhalle ja kirjoitinpaperille menevät myös automaattisesti kaikki reduktioissa tarvittavat tiedot, kuten esimerkiksi tähden numero, käytetty suodatin ja kidekellon antama havaintohetki. Tulostusosan käyttöönotto on lisännyt paljon havaintonopeutta ja vähentänyt virhemahdollisuuksia.

TÄMÄN HETKEN TUTKIMUSOHJELMAT

Metsähovin teleskoopilla on tutkittu ja tutkitaan parasta aikaa seuraavanlaisia asioita:

Suuri osa Linnunratamme tähdistä muodostaa moninkertaisia järjestelmiä joissa kaksi tai useampia tähtiä kiertää toisiaan toistensa painovoimakentässä. Komponenttien välimatka saattaa olla pitkäkin, mutta erikoisen mielenkiintoisen ryhmän muodostavat kaksoistähdet jotka ovat niin lähellä toisiaan että ne vaikuttavat ratkaisevasti toistensa muotoon, rakenteeseen ja kehitykseen.

Tällaisen kaksoistähdän komponentit ovat niin lähellä toisiaan ettei niitä voi erottaa mutta voidaan välillisesti havaita siinä erikoistapauksessa että näköviiva täysin tai melkein yhtyy systeemin kiertoliikkeen ratatasoon. Tällöin komponentit vuoronperään peittävät toisensa, mikä näkyy tähden kirkkauden jaksollisena vaihteluna. Ajan funktiona esitetyn kirkkauden eli valokäyrän muoto paljastaa, onko kysymyksessä edellä kuvattu kaksoistähti eli ns. pimennysmuuttuja, vaiko yksinäinen tähti jonka ominaiskirkkaus todella vaihtelee säännöllisesti, esim. sykkimisen seurauksena.

Hyvin lähellä toisiaan kiertävien kaksoistähtiä eräissä kehitysvaiheissa materiaa siirtyy tähdessä toiseen kaasusuihkuna. Suihkun kaasuihukat sirottavat säteilyä. Sironnut säteily on aina polaroitunutta, ja kun suihku aiheuttaa ajoittain epäsymmetriaa koko systeemin suhteen, on odotettu että pimennysmuuttujien valossa voitaisiin todeta polarisaatioasteen ja -suunnan vaihtelua. Metsähovissa on säännöllisesti havaittu muutamia pimennysmuuttujia, ja mainittu ilmiö on todellakin löydetty. Polarisaatiota ja sen vaihtelua tutkimalla saataneen tietoa tähdessä toiseen kulkevassa materiavirtauksessa vallitsevista fysikaalisista prosesseista. Myös pimennysmuuttujien valokäyriä on Metsähovissa mitattu.

Polarimetrin avulla on Metsähovissa tutkittu myös tähtienvälisen aineen, erikoisesti sen joukossa esiintyvän pölyn tiheyttä Linnunratamme pohjoisnavan suunnassa. Toinen meneillään oleva ohjelma pyrkii löytämään eräiden hyvin nuorten tähtijoukkojen jäsenien ympäriltä pöly- ja kaasupilviä sekä selvittämään niiden luonnetta.

Metsähovin teleskoopilla on myös mitattu Linnunradassa esiintyvien ns. pimeiden sumujen pintakirkkautta niiden rakenteen tutkimiseksi ja niissä

olevien pölyhiukkasien ominaisuuksien selvittämiseksi.

TULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ JA SUUNNITELMIA

Edellä ylimalkaisesti kuvattujen ohjelmien ohella on tarkoitus lähiaikoina aloittaa eräiden galaksien ytimien mahdollisten kirkkaudenvaihtelujen tutkiminen. Tämän esitöihin käytetään myös Tähtitorninmäellä sijaitsevaa, alussa mainittua kaksoisrefraktoria.

Metsähovin laitteistoa täydennetään lähiaikoina pienellä monitoriteleskoopilla ja fotometrillä joka käyttää pääteleskoopin fotometrin ohjaus- ja tulostusosaa. Varsinaisen mittauksen kanssa samanaikaisesti tapahtuvalla monitorimittauksella eliminoidaan esimerkiksi ilmähän läpinäkyvyyden muutosten ja revontulien aiheuttamat häiriöt tuloksista. Järjestelmällä aloitetaan laajahko, eräitä Linnunradan rakenteen peruskysymyksiä selvittävä ohjelma jossa Linnunradan eri osien tähtien kirkkaus- ja spektrijakautumaa tutkitaan pintafotometrisin keinoin.

Säteilydetektorien kehittyminen on nostanut viimeaikoina infrapunahavainnot erikoisen mielenkiinnon kohteeksi tähtitieteessä. Teoreettiselta kannalta infrapunahavainnot ovat ensiarvoisen tärkeitä mm. siksi että juuri syntymässä olevat tähdet säteilevät voimakkaimmin infrapuna-alueella. Tähtitieteen laitoksella on myös vireillä suunnitelmia infrapuna-välineistön ja -ohjelmien kehittämiseksi.

Edelläkerrotusta lienee käynyt ilmi että Tähtitieteen laitoksen havaintotoiminta on jälleen kerran alkuun päästyään nopeasti vilkastunut. Parina kuluneena vuonna havaintoja on voitu tehdä vuosittain noin 70 yönä. On käynyt selväksi että yksi kaukoputki laitteineen ei riitä ajankohtaisten ohjelmien läpiviemiseen. Tarkoitus onkin siirtää artikkelin alussa mainittu anastigmaattinen valokuvausteleskooppi Metsähoviin. Se on kunnostettu ja modernisoitu. Kaukoputki odottaa vain kupoliaan. Myös pienemmän, ehkä 40 cm peilitteleskoopin hankkiminen fotometriin töihin on suunnitelmissa. Monet nyt 60 cm teleskooppeja kuormittavista ohjelmista voitaisiin hyvin siirtää sillä läpivietäviksi.

Päitsi että Metsähovin uudella havaintoasemalla ja sen kalustolla voidaan tutkia ajankohtaisia ja merkityksellisiä tieteellisiä ongelmia, sillä on toinenkin merkitys: Siellä saadaan tuntuma nykyaikaisiin havaintomenetelmiin ja voidaan kokeilla ja valmistella ehkä paljonkin suurempia kaukoputkia vaativia ohjelmia. Näin saavutettu kokemus on välttämätön kun halutaan mennä suotuisammissa ilmastoissa sijaitsevilla jättiläiskaukoputkillla havaitsemaan.

TÄHTIVALOKUVAUKSESTA

Kari Kaila

Moni on varmaan tähtitaivaalla nähnyt jonkin hienon ilmiön tai kaukoputkella kohteen jonka olisi mielellään ikuistanut. Kuka tahansa voi ruveta harrastamaan tähtivalokuvausta, vaikkei olekaan paljoa perehtynyt sen enempää tähtitieteeseen kuin valokuvaukseenkaan. Tähtivalokuvaus ei ole niin vaikeaa kuin yleensä luullaan. Siinä tarvitaan alussa vain kamera ja filmiä. Kameran objektiivin halkaisijan pitäisi olla yli kahden sentin suuruinen ja kameralla pitäisi voida ottaa usean sekunnin kuvia. Sulkimessa pitää olla B tai T. Jos haluaa jatkaa tähtivalokuvausta pidemmälle, on perehdyttävä sekä valokuvaukseen että tähtitieteeseen. Tällöin saa harrastuksestaan myös enemmän irti ja se kiinnostaa enemmän. Myöhemässä vaiheessa tarvitaan ehkä parempi kamera ja kenties kaukoputkikin. Kaukoputkea voi myös käyttää – ainakin tähtitieteellisten yhdistysten jäsenet – tähtitorneissa, joissa kaukoputkessa yleensä on hienoliikuntalaite. Tämän tehtävänä on eliminoida Maan kiertoliikkeen vaikutus tähtiin. Alussa ei esimerkiksi kannata ostaa kaupasta herkintä mahdollista filmiä kameraan, laittaa kameraa kaukoputken tai sen jalustan päälle ja valottaa useita tunteja tai niin kauan kuin hermot kestävät, vaan parempi on perehtyä eri systeemeihin. Tärkeintä mielestäni on tuntea kameransa, filminsä ja yleensäkin systeemi, jolla kuvataan. Täytyy siis päästä ”sinuiksi” laitteittensa kanssa. Tällöin myös suunnilleen tietää, mitä saa kuvaan.

FILMI

Tähtivalokuvauksessa, kuten yleensäkin valokuvauksessa, on tärkein osa filmi, jonka toiminta on hyvä tuntea. Filmi koostuu kahdesta kalvosta, filmin pohjasta ja valoherkästä emulsiosta. Filmin pohja on nykyään läpinäkyvä selluloosa-asetaattikalvo. Ennen käytettiin selluloosanitraattia, mutta koska se oli helposti syttyvää, sen käytöstä luovuttiin. Valokuvaukselyvyissä käytetään lasia pohjana. Pohjan päälle on valettu valoherkkä kalvo, jossa on filmimateriaalin tärkein osa, hopeayhdisteet. Nämä hopeayhdisteet ovat pääasiassa hopeabromidia ja vähäisessä määrin myös hopeajodidia. Valon vaikutuksesta hajoavat nämä yhdisteet alkuaineiksi, eli hopeaksi ja bromiksi.



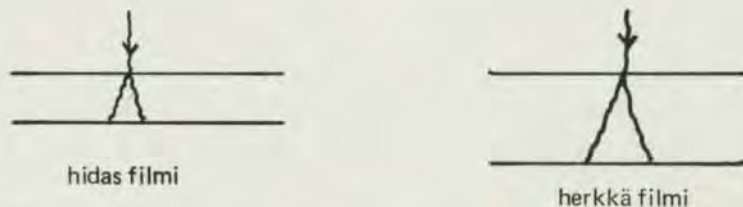
Valotuksen jälkeen ei kuva ole vielä filmillä nähtävissä. Filmi pitää ensin kehittää. Tällöin negatiiville syntyy mustia kohtia, jotka ovat mustaa metallista



Kuva 1. Kuvan keskellä on suuri Orionin kaasusumu ja alla sumu, jonka merkintä on NGC 1973-5-7. Kuva on otettu 23.2.-73 Kodakin Tri-X:lle 20 cm:n peilikaukoputkella, jonka polttoväli on 103 cm. Valotusaika oli 20 minuuttia.

hopeaa. Juuri näihin mustiin kohtiin oli valoa valotettaessa tullut. Jotta negatiivi säilyisi, on valottumattomat hopeabromidkiteet liuotettava pois, etteivät ne mustuttaisi koko negatiivia myöhemmin. Tätä pesuvaihetta kutsutaan kiinnitykseksi.

Joillakin filmeillä voidaan ottaa valokuvia lyhyemmällä valotusajoilla kuin toisilla. Tällöin on edellinen filmi herkempää kuin jälkimmäinen. Filmin herkkyyttä kuvataan yleisimmin ASA ja DIN-luvuilla. Filmin herkkyys kasvaa kaksinkertaiseksi, jos ASA-luku kaksinkertaistuu tai DIN-luku nousee kolmella. Markkinoilla olevia filmejä, lähinnä negatiivikokoa 24 x 36 mm, on 9 DINistä 40 DINiin. Hyvin herkkänä filminä pidetään jo 27 DINin filmiä. Yksinkertaisimmalta tuntuisi käyttää yleensä herkintä mahdollista filmiä. Tässä säästettäisiin silloin valotusaikaa, jolloin myös kohteesta tulisi terävämpi kuva, koska lyhyemmässä ajassa kohde ehtii liikkua vähemmän. Näin ei kuitenkaan ole asia. Filmin valoherkän kalvon paksuus vaihtelee eri filmeillä 0,005:stä 0,02:een millimetriin. Herkillä filmeillä on paksumpi kalvo. Kun valonsäde osuu filmin kalvolle, se leviää. Mitä paksumpi filmin kalvo on, sitä enemmän valo leviää tunkeutuessaan syvemmälle kalvon sisään ja kuva tulee epäterävämmäksi. Tästä seuraa se, että varsinkin herkillä filmeillä pistemäisestä kohteesta otettu kuva tulee hieman levymäiseksi.



Kuva 2.

Toinen kuvan terävyyteen vaikuttava seikka on filmin rakeisuus. Jos valoherkkä kalvo valetaan suoraan filmin pohjalle, se on aika hienorakeista ja hyvin epäherkkää eli hidasta filmiä. Tehtaassa lisätään filmin herkkyyttä luultavasti mm. lämmittämällä emulsiota. Tällöin kasautuvat hopeasuolakiteet suuremmiksi ryhmiä. Tällaiset ryhmät ovat paljon herkempiä valolle, kuin yksittäiset kiteet. Lisäksi filmin erotuskyky on tärkeä asia. Erotuskyvyn mittana käytetään lukua, joka ilmoittaa, kuinka monta viivaa millimetrin pituiselle välille on mahdollista saada negatiiville. Hitaille filmeille, joilla on suuri erotuskyky, on mahdollista saada lähes 200 viivaa millimetrille, kun taas herkillä filmeillä päästään 90 paikkeille (tosin kummassakin tapauksessa vain hyvillä objektiiveilla). Herkillä filmeillä on siis rakeisuus suuri ja erotuskyky pieni, hitailla filmeillä taas päinvastoin.

KUVAUSTA TAVALLISELLA KAMERALLA

Tähtivalokuvaus kannattaa aloittaa tähdistöjen kuvaamisella ns. normaali-objektiivisella kameralla. Näiden kamerojen objektiivin polttoväli vaihtelee 35:stä 55 mm:iin, kuvakulma 30:stä 60 asteeseen ja objektiivin halkaisija 20:stä 50 mm:iin. Tällaisilla objektiiveilla saa lyhyillä valotusajoilla yllättävän paljon tähtiä kuvaan. Tähdet tuntuvat olevan erittäin himmeitä, mutta pitää muistaa, että ne ovat pistemäisiä kohteita. Jo noin viiden sekunnin valotusajalla saa näkyviin esimerkiksi 21 DINin filmillä kaikki tähdet, jotka paljain silmin voi nähdä (suuruusluokkaan 6^m asti). Jos objektiivin valovoima on kaksi ts. objektiivin polttovälin suhde ns. efektiiviseen aukkoon = 2, voi samalla valotusajalla, mutta herkemällä filmillä, saada näkyviin tähtiä, joiden suuruusluokka on 8^m . Lyhyillä valotusajoilla tulevat tähtien kuvat näin pienipolttovälisillä objektiiveilla vielä oikeastaan pistemäisiksi. Tällöin on helppo tunnistaa tähdistöjä. Yhden minuutin kuvissa ovat tähtien kuvat jo selvästi viivoja, varsinkin jos kuvataan taivaan ekvaattorille päin, missä tähdet näyttävät liikkuvan nopeimmin.

Jos on maaseudulla todella pimeässä paikassa kuvaamassa niin etteivät kaupungin eivätkä muutkaan valot häiritse, voi valottaa täydellä aukolla



Kuva 3. Linnunrata Joutsenen tähtikuviossa. Kuvattu 8.9.1970 23,00 Kodakin 27 DINin filmille. Valotusaika 5 minuuttia. 35 mm; f:2,8 objektiivi.



Kuva 4. Komeetta Bennet. Kuvattu 15.4.1970 2.30 Kodakin 22 DINin filmille. Valotusaika 2 minuuttia. 135 mm; f:2,8 objektiivi.

viisitoista minuuttia tai jopa tuntiin asti. Tällöin on oltava täysin pimeää, eikä Kuukaan saa paistaa. Kuutamolla näet filmi rupeaa mustumaan jo yli viiden minuutin valotusajoilla, valovoimaisilla objektiiveilla jo minuuttikin riittää. Tunnin tai useammankin tunnin kuva Pohjantähden ympäristössä on varsin vaikuttavan näköinen. Tällöin voi myös kuvasta havaita, ettei Pohjantähti ole aivan Maan pyörimisakselin jatkeella, vaan noin asteen päässä siitä. Jos siis haluaa valottaa valovoimaisella objektiivilla useita tunteja, on objektiivin aukkoa pienennettävä pari pykälää. Muuten negatiivista tulee helposti hyvin tumma ja himmeimmät tähdet häipyvät vaaleampina pois.

Jos kuvaajalla on taas kaukoputki käytettävänä, voi hän kiinnittää kameran kaukoputken päälle ja seurata tähteä kaukoputken läpi. Seuranta voi tapahtua aivan hyvin käsin, sillä pieni epätarkkuus ei normaaliobjektiivilla kuvattaessa näy kuvassa. Muutamien minuuttien (5–10 min.) kuvissa näkyy jo erittäin paljon tähtiä, ehkä suuruusluokkaan 11^m asti.

Mitä kaikkeaa sitten normaaliobjektiivisella kameralla voi kuvata? Ensiksi, jos kamera on jalustalla, siis paikallaan, ovat hienoja kuvauskohteita tähtikuviot, meteorit eli tähdenlennot, planeettojen liikkeitä, kirkkaimmat

pikkuplaneetat, satelliitit, revontulet ja muuttuvat tähdet. Planeettoja ja pikkuplaneettoja kannattaa kuvata siten, että ottaa kuvia joka toinen yö tai pitempien ajanjaksojen välein. Tällöin saa näkyviin planeettojen näennäiset liikkeet taivaalla tähtien suhteen. Jos haluaa kuvata vain pikkuplaneetan, olisi syytä kuvata se kahtena peräkkäisenä yönä tai pitää muutama päivä väliä, sillä pikkuplaneetta on erittäin vaikea löytää yhdestä kuvasta tähtien joukosta. Tähdelennot ovat yleensä niin nopeita, että niitä kuvattaessa saa näkyviin vain yli 0^m suuruiset meteorit.

Jos taas seuraa kaukoputkella tähteä kameran ollessa kiinnitettynä kaukoputken päälle, on edellisten lisäksi mielenkiintoisimpia Linnunradan, joidenkin komeettojen ja himmeämpien pikkuplaneettojen kuvaus. Linnunradasta saa kohtalaisen valovoimaisella – aukkosuhde noin 1:2 tai 1:3 – ja laajakulmaisella objektiivilla todella hienoja kuvia. Komeettoja, ei aivan himmeitä, kannattaa myös yrittää samalla tavalla. Jotkut sumut ja tähtijoukot tulevat tosin helposti näkyviin, mutta ne ovat negatiivilla kovin pieniä.

Jos kuitenkin ei ole mahdollista kuvata pimeässä, vaan täytyy yrittää kaupungin lähellä, kannattaa ”tuhlata” yksi filmi kokeiluihin. On nimittäin syytä kokeilla, kuinka kauan voi valottaa, jottei filmi tule aivan mustaksi ja kuvata kohteita sitten parhaaksi katsomallaan valotusajalla.

KAMEROISTA

Normaaliobjektiivisilla kameroilla saa todellakin näkyviin hyvin paljon tähtiä. Mutta jos haluaa jatkaa kuvailujaan, olisi syytä hankkia parempi kamera, nimittäin vaihdettavaobjektiivinen kamera. Tällaiset ovat yksisilmäisiä peiliheijastuskameroita, ainakin ne, joissa käytetään kinofilmikokoa. Tällöin avautuu paljon uusia mahdollisuuksia. Yksi monista eduista on, että voi käyttää sekä laajakulmaisista eli pienipolttovälisistä objektiiveista että kauko-objektiiveista. Pelkän kameran rungon voi laittaa kaukoputken pulttopisteeseen ja kuvata, ikäänkuin kaukoputki olisi suuri kauko-objektiivi. On myös mahdollista kuvata okulaarisuurennuksella. Normaaliobjektiivisella kameralla, joka voi olla kiinteäobjektiivinenkin, voi kuvata myös kaukoputken läpi, jossa käytetään okulaarisuurennusta. Silloin on kameran objektiivin tarkennusasetäisyys asetettava äärettömyydelle ja okulaari tarkennettava niin, että äärettömään katsova silmä näkee kuvan terävänä. Tällöin ei kuva kuitenkaan aina tule teräväksi. Tarkennus onkin kiinteäobjektiivisessä kamerassa suurimpana vaikeutena kuvattaessa muuten kuin pelkän kameran objektiivin läpi. Yksisilmäisessä peilikamerassa taas tarkennus ei tuota paljon vaikeuksia, paitsi hyvin himmeille kohteille. Tässä on muutamia etuja ja lisää selviää myöhemmin. Objektiivit yleensä ratkaisevat kuvan laadun. Kaukoputken pulttopisteessä kuvattaessa tulee valo filmille suoraan kaukoputken objektiivin

kautta, joten kameran merkillä ei ole paljon väliä. Valotusmittaria ei tarvita lainkaan tähtivalokuvauksessa, ainoastaan Aurinkokuvauksessa ja ehkä Kuukuvauksessa. Jos kuitenkin käyttää valotusmittaria ja kuvaa sen arvojen mukaan, voi olla varma, ettei valotus ole osunut oikeaan.

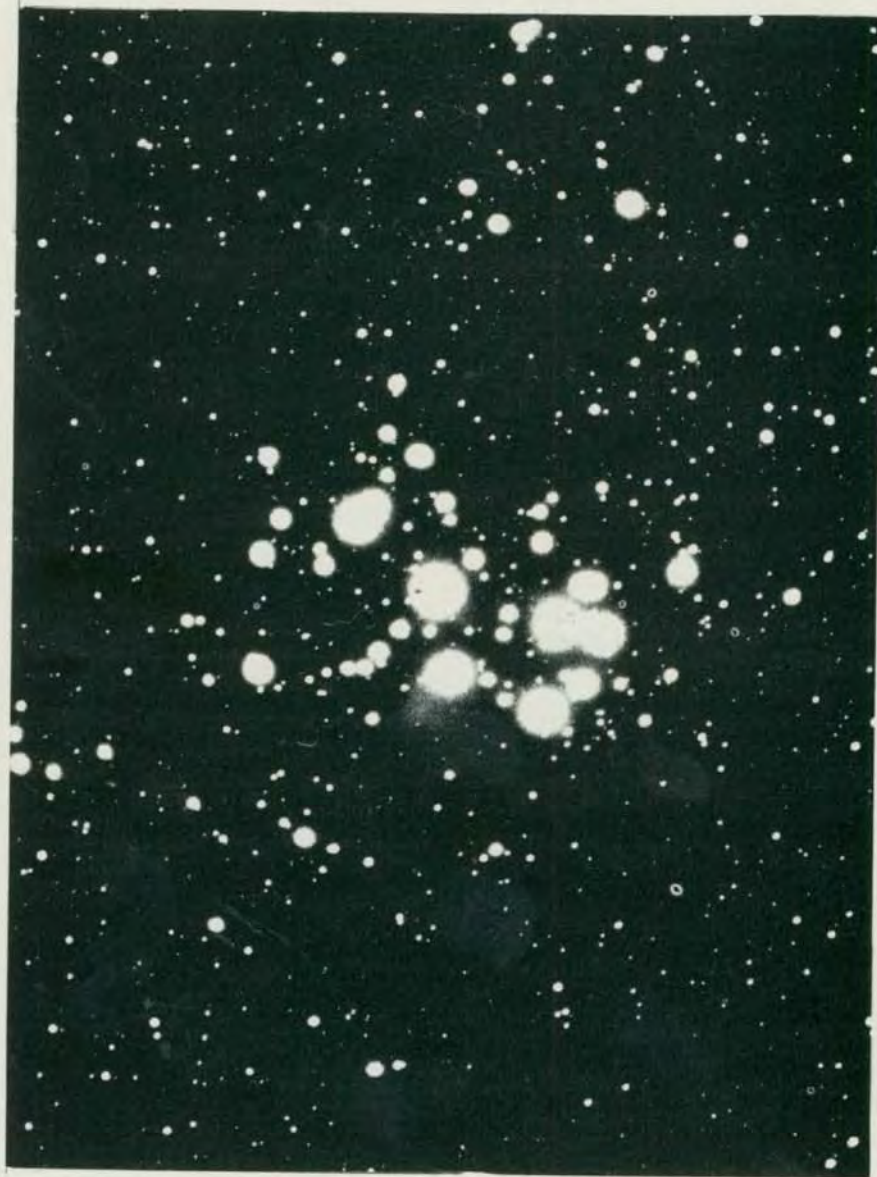
Normaaliobjektiivisellä kameralla on myös hyvä mahdollisuus tehdä itselleen kohtalaisen hyvä tähtikartta. Käyttämällä herkkää filmiä ja suhteellisen valovoimaista objektiivia saadaan tähtikarttaan himmeimmiksi tähdiksi $10^m,5 - 11^m,5$ suuruiset tähdet jo minuutin valotusajalla, edellyttäen että kamera on seurannut kohdetta. Tällaisen tähtikartan teko ei onnistu yhdessä yössä, vaan siihen kuluu jopa puolikin vuotta, mikäli haluaa tehdä kartan koko näkyvästä taivaasta. Tällaiseen omaan kartastoon on helppo verrata myöhempiä kuviaan esimerkiksi pikkuplaneetoista.

KUVAUKSIA KAUKO-OBJEKTIIVEILLA

Kauko-objektiivien polttovälit vaihtelevat 75:stä 400 millimetriin, objektiivien halkaisijat 40:stä 90 mm:iin, aukkosuhteet 1:2,8:sta 1:8:aan ja kuvakulmat 25° :sta 5° :een. Pitempipolttovälisillä objektiiveilla on tietysti pienempi kuvakulma. Pienempipolttovälisillä kauko-objektiiveilla, 75:stä 135:een millimetriin, kuvattaessa riittää vielä käsinseuranta. Näillä pienipolttovälisillä kauko-objektiiveilla voi kuvata Linnunradan yksityiskohtia, kirkkaimpia sumuja ja galakseja, tähtijoukkoja, komeettoja ja pikkuplaneettoja, myöskin muuttuvia tähtiä.

Kameran pitäisi olla joko kaukoputken päällä tai vastapainon paikalla. Jos kaukoputken on mahdollista kätevästi rakentaa moottorisysteemi siten, että kaukoputki kiertää noin vuorokaudessa kerran tuntiakselinsa ympäri, riittää tarkkuus hyvin. Moottoreita, joissa olisi suoraan sopiva kierrosluku kaukoputkea varten, on vaikea saada. Tarvitaan siis jonkinlainen välitys. Itse laitoin omaan kaukoputkeeni välityksen vanhasta herätyskellon koneistosta. Moottori oli paristolla käyvä ja sen nopeutta säätelin potentiometrillä. Tällä tavalla saa helposti valotetuksi kymmenenkin minuuttia. Moottoriseuranta on paras tapa, mutta on myös hyvin näppäriä käsinseurantalaitteita, joilla päästään suuriin tarkkuuksiin.

Pitempipolttovälisillä kauko-objektiiveilla (300–400 mm) kuvattaessa on oikeastaan jo välttämätöntä käyttää moottorihienoliikuntalaitetta, jos tahtoo saada tähtien kuvat pitemmälläkin valotusajalla pistemäisiksi. Pitkäpolttoväliset objektiivit alkavat olla jo melko painavia, varsinkin heiveröisen kaukoputken päällä. Joka tapauksessa kuvattaessa millä objektiivilla tahansa, täytyy hyvien kuvien saamiseksi pystyttää kaukoputki mahdollisimman hyvin parallaktiseksi, eli suunnata kaukoputken tuntiakseli taivaan pohjoisnapaan, joka on hyvin lähellä Pohjantähteä, vain asteen päässä siitä. Pitkäpolttovälisillä objektiiveilla



Kuva 5. Seulaset on kaunis avonainen tähtijoukko. Tällaisen kuvan siitä saa kauko-objektiivilla. Kuva on otettu 350 mm:n $f:5,6$ objektiivilla filmille 103 aF ja valotusaika oli noin 15 minuuttia.

voi kuvata tähtijoukkoja, komeettoja, pimennyksiä, pikkuplaneettoja sekä tähtisumuja. Jos haluaa tällaisilla objektiiveilla kuvata tähtisumuja, pitää valottaa melko pitkään, ellei objektiivi ole kovin valovoimainen. Pitää näet muistaa, että kun objektiivi polttoväli kaksinkertaistuu, pienenevät pintaobjektien pintakirkkaudet vain yhdeksi neljäsosaksi. Saadakseen kohteen jälleen yhtä kirkkaaksi, pitää valotusaika nelinkertaistaa. Tällöin saa taas tähtiä paljon enemmän näkyviin, sillä tähdethän ovat pistemäisiä, eikä niiden mukaantulo negatiiville riipu läheskään yhtä paljon polttovälillä kuin pintakohteiden. Etuna kuitenkin pitemmällä polttovälillä on se, että pintakohteiden erotuskyky suurenee. Jos siis kuvaa pitemmällä polttovälillä, saa kohteen suuremmaksi negatiiville. Valotusaikoja kauko-objektiiveilla voi yleensä käyttää 10 sekunnista eteenpäin. Kymmenen minuutin valotusajalla pitäisi herkähkölle filmille saada näkyviin vielä suuruusluokka $13^m,0$, minuutilla taas noin $10^m,5$.

Kuten edelläolevasta helposti huomaa, ei ole olemassa mitään jokapaikkaan sopivaa yleisobjektiivia. Jokaisella objektiivilla on varmasti jotain kuvattavaa. Sille, joka aikoo ostaa pienen kauko-objektiivin tähtikuvausta varten, suosittelen 135-millistä, jonka aukkosuhde olisi 1:2,8 tai 1:3,5. Se on mielestäni kätevä ja aika monipuolinen.



Kuva 6. Perseuksen kaksoistähtijoukko on kuvattu 15 cm:n f:5 peilikaukoputkella 15.4.-71. Valotusaika oli vain 4 minuuttia Kodakin 22 DINin filmille.

KUVAUKSET KAUKOPUTKEN LÄPI

Kuvaukset kaukoputkien läpi, jotka yleensä ovat hyvin pitkäpolttovälisiä kameran objektiiveihin verrattuna, on erittäin vaikeaa amatööreille, joilla ei ole kellokoneistolla varustettua kaukoputkea tai mahdollisuutta käyttää jonkin yhdistyksen kaukoputkea, jossa on asianmukainen hienoliikuntalaite. Kaukoputkien polttovälit vaihtelevat yleensä 700:sta 2000:een millimetriin, aukkosuhteet 1:4:stä 1:20:een, objektiivien halkaisijat 60:stä 200:aan millimetriin ja kuvakulmat 2° :sta $0,5^{\circ}$:een. Kaukoputken läpi yli 15 sekunnin valotusajoilla kuvattaessa on syytä seurata ohjauskaukoputkella jotain kirkasta tähteä. Suurennuksen pitäisi olla tällöin mahdollisimman suuri, sillä seuranta on silloin helpompaa.

Valovoimaisilla, aukkosuhde 1:4–1:6 ja pienipolttovälisillä, polttoväli 700–1000 mm., kaukoputkilla ovat parhaita kuvauskohteita tähtisumut,



Kuva 7. M 104 eli Sombrerosumu on kaunis galaksi. Kuva on otettu 23.4.-71 ja valotusaika oli 6 minuuttia. Kaukoputkena oli 15 cm:n f:5 reflektori ja filminä Kodakin 22 DINin filmi.



Kuva 8. Suuri spiraaligalaksi Isossa Karhussa on M 101. Se on kuvattu 24.3.-74 ja valotusaika oli 20 minuuttia. Kuva on otettu 20 cm:n f:5 kaukoputkella polttopisteessä. Filmi oli 103 aF.

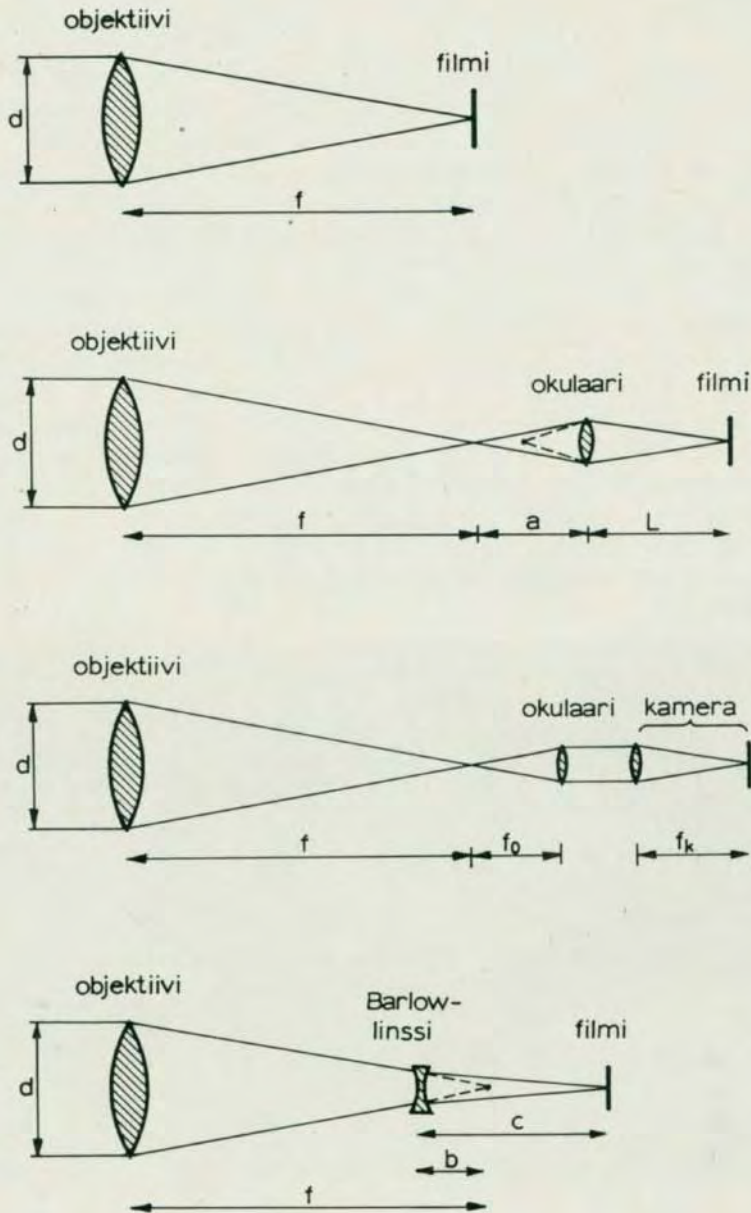
galaksit ja tähtijoukot. Myös himmeitä pikkuplaneettoja, himmeitä komeettoja ja pimennyksiä voi kuvata. Tällaiset kaukoputket ovat yleensä peilikaukoputkia, joita amatööritkin voivat itse rakentaa. Kuvaukset kannattaa tehdä polttopisteessä. Kovinkaan suuria valotusaikoja ei tällöin tarvita. Jo viiden minuutin valotusajalla saa ihmeitä aikaan, esimerkiksi 15 sentin kaukoputkella näkyviin suuruusluokan 14^m0. Tällöin täytyy mieluiten käyttää 27 DINin filmiä. Jostain galaksijoukosta voi saada yhteen negatiiviin viisikin galaksia. Valovoimaisissa kaukoputkissa alkavat linssivirheet tulla helposti näkyviin. 15 sentin F:5 (aukkosuhte 1:5) peilikaukoputkella kinofilmille kuvattaessa alkaa reunoilla olla koma-virhettä. Tähdet eivät ole enää pistemäisiä, vaan alkavat tulla pyrstötähden pään näköisiksi läiskiksi; siitä nimi. Kuitenkin suurin osa kuvakenttää on täysin hyvä. Seurantakaukoputkessa olisi syytä olla kaksoihiusristikko ja seurantaan tulisi käyttää melko kirkasta tähteä. Siten päästäisiin parhaaseen tulokseen. Harvoin sattuu että löytää kuvattavan kohteen vierestä kyllin kirkkaan seurantatähden. Jos kuitenkin käyttää suurta suurennusta, tulee kuvakenttä erittäin pimeäksi, ja tähteä on vaikea pitää ristikossa, sillä ristikkoo on vaikea erottaa. Jos tähti on kyllin kirkas, voi tarkennusta muuttaa niin, että tähti tulee suuremmaksi läiskäksi. Tällöin tähti on helppo pitää ristikon keskellä. Olen itse käyttänyt seuraavanlaista systeemiä:

laitan kaukoputkeen hyvin suuren suurennuksen ja seurantatähden aivan kuvakentän reunaan. Tämän jälkeen laitan moottorin kulkemaan hieman normaalia kovempaa niin, että tähti pyrkii menemään pois kuvakentästä. Heti, kun tähti on hävinnyt näkyvistä, hidastan moottoria niin, että se tulee jälleen esiin. Vaikka kaukoputki hiukan liikkeekin edestakaisin valotuksen aikana, pääsen aika hyvään tarkkuuteen, suurella suurennuksella noin 20". Tässä tapauksessa pitäisi jalustan olla hyvin asennettu, sillä muuten tulee virhe seurannassa suureksi. Jos tähti liikkuu ylös- tai alaspäin, tulee reuna myös vastaan, sillä okulaarin kuvakenttään on pyöreä. Tällöin tulee myös rektaskensiovirhettä. Tämä havaittaisiin hiusristikossa kuitenkin nopeasti.

Pitkäpolttovälisillä, polttoväli 1000–2000 mm. ja pienivalovoimaisilla, aukkosuhde 1:6–1:20, kaukoputkilla ei kannata kuvata sumuja eikä galakseja, tähtijoukkoja sen sijaan voisi. Muuta kuvattavaa on sentään sellaisillakin kaukoputkilla, nimittäin Kuu, Aurinko, planeetat ja niiden pinnan yksityiskohdat, sekä planeettojen kuut. Näissä kuvauksissa täytyy olla kohtalaisen hyvä moottoriseuranta, sillä niissä käytetään yleensä suuria suurennuksia. Kuvaustapoja on neljä: suoraan polttopisteessä, okulaarisuurennuksella, systeemi jossa käytetään sekä okulaaria että kameran objektiivia (sopii kiinteäobjektiivisille), sekä Barlow-linssin käyttö; kuva 10.



Kuva 9. Avonainen tähtijoukko Kaksosissa on M 35. Lähellä on paljon pienempi tähtijoukko NGC 2158. Kuva on valotettu 10 minuuttia filmille 103 aF ja kaukoputkena oli 20 cm:n f:5 reflektori.



Kuva 10

Planeettakuvauksissa, myös kuukuvauksissa käytetään yleensä suurennusta. Tällöin efektiivinen aukkosuhde F (= objektiivin vapaan aukon suhde kaukoputken efektiiviseen polttoväliin) muuttuu. Jos siis käytetään kaksinkertaista suurennusta, kaksinkertaistuu efektiivinen polttoväli ja samalla efektiivinen aukkosuhde puolittuu, sillä aukkohän pysyy samana. Tämän vuoksi ilmoitetaan yleensä juuri efektiivinen aukkosuhde. Eri okulaareja eli eri suurennuksia käyttämällä voidaan sen avulla laskea valotusaika, jos tiedetään jokin valotusaika tietyllä efektiivisellä aukkosuhteella.

Polttopistekuvauksessa efektiivinen aukkosuhde on

$$F = 1 : \frac{f}{d} \quad \text{missä } f = \text{polttoväli ja} \\ d = \text{aukko}$$

Jos taas käytetään **okulaarisuurennusta** eli suurennetaan objektiivin polttopisteeseen tekemä kuva okulaarilla filmille, saadaan F :ksi

$$F = 1 : \frac{f}{d} \cdot \left(\frac{L}{f_o} - 1 \right) \text{ tai } F = 1 : \frac{f}{d} \cdot \frac{L}{a}$$

missä L = filmin etäisyys okulaarista
 f_o = okulaarin polttoväli
 a = okulaarin etäisyys objektiivin polttopisteestä
 (katso kuvaa)

Tästä näemme heti, että F suurenee lisääessä filmin etäisyyttä okulaarista, tai oikeastaan kameran etäisyyttä okulaarista, tai laittamalla pienempipolttovälinen okulaari kaukoputken. Kaukoputken objektiivin aukko sekä polttoväli pysyvät tietysti muuttumattomina.

Systeemiin, jossa käytetään sekä okulaaria että kameran objektiivia, saadaan F :ksi

$$F = 1 : \left(\frac{f}{d} \cdot \frac{f_k}{f_o} \right) \quad \text{missä } f_k = \text{kameran objektiivin polttoväli} \\ f_o = \text{okulaarin polttoväli}$$

Tässä saadaan kuva myös suuremmaksi pienentämällä okulaarin polttoväliä tai suurentamalla kameran objektiivin polttoväliä.

Barlow-linssi on kovera linssi tai linssisysteemi, jolla saadaan polttoväli pidennetyksi. Jos käytämme sitä ja kameran runkoa, tulee F :ksi

$$F = 1 : \left(\frac{f}{d} \cdot \frac{c}{b} \right) \quad \text{missä } c = \text{Barlow-linssin ja filmin välinen etäisyys} \\ b = \text{Barlow-linssin etäisyys objektiivin polttopisteestä} \\ \text{objektiiviin päin}$$

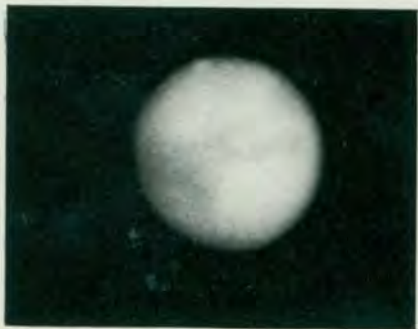
F:ää voi suurentaa lisäämällä c:tä tai pienentämällä b:tä eli siirtämällä kameraa pois päin Barlow-linssistä tai siirtämällä sekä kameraa että Barlow-linssiä pois päin objektiivista.

Lisäksi voi käyttää yhdistelmää, jossa Barlow-linssin kanssa on okulaari, mutta tämä vie jo aika paljon valoa hukkaan, sillä filmin ja objektiivin välissä on tällöin monta heijastavaa lasipintaa. Paras tapa on mielestäni okulaarisuurennus. Hyvä tapa on myös Barlow-linssin käyttö, jona voi käyttää myös kameroihin saatavaa telejatketta.

Seuraavassa taulukossa on valotusaikoja tietyille aukkosuhteille, jotka olen itse havainnut melko oikeiksi. Näihin ei täydellisesti kannata luottaa, mutta niitä voi käyttää ohjelukuina.

Taulukko 1

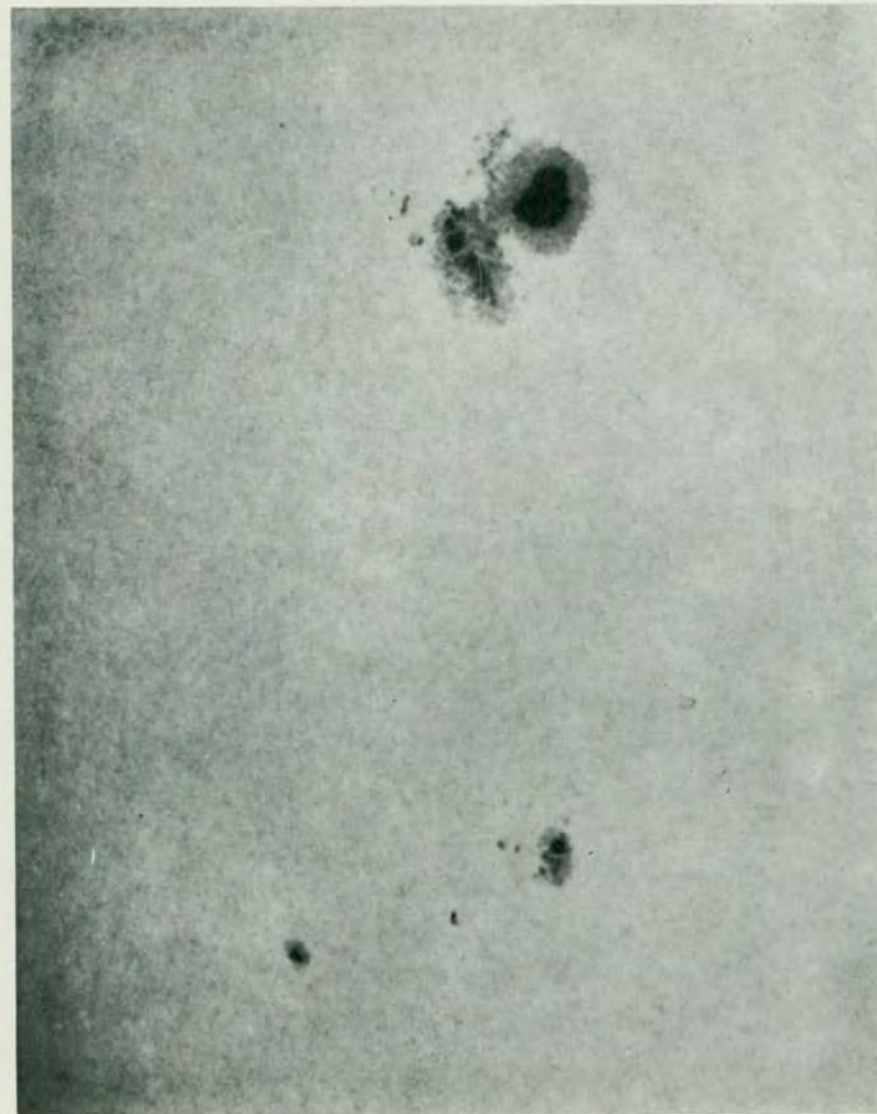
Kohde	filmin herkkyys	F	valotusaika
Venus	16 DIN	1:50	1/10 sek
Mars	16 DIN	1:50	1/2 sek
Jupiter	16 DIN	1:50	1 sek
Saturnus	16 DIN	1:40	2 sek
Kuu (puoli)	16 DIN	1:60	1 sek
(täysi)	16 DIN	1:60	1/4 sek



Kuva 11. Planeetta Mars kuvattu 12.10.-73 Ursan 13,5 cm:n f:15 refraktorilla. Kuvauksessa on käytetty 9 mm:n okulaariprojektiota. $F=1:68$. Valotusaika oli Agfaortholle noin 3 sekuntia.



Kuva 12. Planeetta Saturnus kuvattu myös Ursan refraktorilla. Filminä oli 17 DINin filmi ja kuva oli suurennettu 9 mm:n okulaarilla. $F=1:68$. Valotusaika oli noin 7 sekuntia.



Kuva 13. Auringonpilkkuja tai yleensä Aurinkoa voi kuvata kuin Kuuta. Kaukoputken objektiivin eteen pitää laittaa vain tumma aurinkosuodin, joka päästää valoa läpi vain noin sadasosaprosentin. Tämä kuva on otettu 12.9.-74 Ursan refraktorilla 13,5 cm, f:15. Valotusaika Agfaortholle oli 1/500 sekuntia. Aurinkoa kuvattaessa on syytä olla varonainen, etteivät silmät vahingoitu.

Nyt, kun olemme saaneet efektiivisen aukkosuhteen lasketuksi, voimme laskea nopeasti efektiivisen polttovälin, $f_{\text{eff}} = d : F$. Tämän jälkeen voimme laskea kohteemme suuruuden S negatiivilla, jos vain tiedämme kohteen näennäisen halkaisijan asteissa.

$$S = \frac{W \cdot f_{\text{eff}}}{57,3^{\circ}} \quad \text{missä } W = \text{kohteen halkaisija asteissa} \\ f_{\text{eff}} = \text{systeemin efektiivinen polttoväli}$$

Tällä yhtälöllä voimme myös laskea tavallisen objektiivin muodostaman kuvan halkaisijan sijoittamalla f_{eff} :n paikalle vain kameran objektiivin polttovälin arvon.



Kuva 14. Herkuleen tähdistöissä on komea pallonmuotoinen tähtijoukko M 13. Tämä kuva on otettu siitä 28.4.-73 Tri-X:lle. Valotusaika oli 15 minuuttia ja kaukoputkenä oli 20 cm:n f:5 peilikaukoputki.

Nyt siis tiedämme eri tapauksissa efektiivisenkin polttovälin. Jos nyt muutamme sen kaksinkertaiseksi, kohteen pintakirkkaus pienenee yhteen neljäsosaan ja meidän täytyy valottaa kohdetta neljä kertaa niin paljon kuin edellisessä tapauksessa.

Milloin sitten tähtikuva on pistemäinen? Tähdet ja planeetat näyttävät liikkuvan taivaalla hyvin hitaasti, lähellä taivaan ekvaattoria oleva tähti 0,004 astetta sekunnissa. Kuvattaessa objektiivilla, jonka polttoväli on f , se tekee tänä aikana filmille viivan, jonka pituus M_e on

$$M_e = \frac{0,004^{\circ} \cdot f}{57,3^{\circ}} \cdot t \quad \text{missä } f = \text{objektiivin polttoväli tai efektiivinen polttoväli} \\ t = \text{valotusaika sekunneissa}$$

Esimerkiksi: jos valotetaan 50 mm:n polttovälisellä objektiivilla kuvattaessa yksi sekunti, tulee kuvan pituudeksi 0,0035 millimetriä. Negatiivilla olevaa kuvaa pidetään vielä pistemäisenä, jos sen halkaisija on noin 0,03 mm. Tällöin voimme valottaa 8,5 sekuntia saadaksemme kuvan vielä pysymään paikallaan. Tämä oli siis ekvaattorilla. Jos sen sijaan kuvaamme aluetta, jonka deklinaatio $\delta = +60^{\circ}$, voimme valottaa samalla 50 mm:n objektiivilla kaksinkertaisen ajan, nimittäin 17 sekuntia kuvien silti jäädessä pistemäisiksi. Suurempiin deklinaatioihin mentäessä voi lisätä vielä kuvausaikaa. Eri deklinaatioita varten saadaan kuvan pituudelle yleisempi lauseke:

$$M = \frac{0,004^{\circ} \cdot f}{57,3^{\circ}} \cdot t \cdot \cos \delta$$

Seuraavassa taulukossa on eri objektiivien polttoväleille M_e :n arvoja ja suurimpia valotusaikoja eri deklinaatioille kuvien tullessa vielä pistemäisiksi.

Taulukko 2

f polttoväli	M_e kuvan pituus sekunnissa ekvaattorilla	suurin valotusaika, jolloin tähden kuva vielä pistemäinen		
		$\delta = 0$	$\delta = +30^{\circ}$	$\delta = +60^{\circ}$
35 mm	0,0024 mm	12 sek	14 sek	25 sek
50	0,0035	8,5	10	17
100	0,007	4,3	5,0	8,6
135	0,009	3,2	3,7	6,4
200	0,014	2,1	2,5	4,2
350	0,024	1,2	1,4	2,4
760	0,053	0,56	0,65	1,1
910	0,063	0,47	0,54	0,94
1200	0,084	0,36	0,41	0,71
2000	0,14	0,21	0,25	0,42



Kuva 15. Seulaset kuvattuna 20 cm:n f:5 peilikaukoputkella 23.3.-73. Filminä oli Tri-X ja valotusaika oli 15 minuuttia. Kuvassa näkyy hiukan myös tähtienvälistä ainetta.



Kuva 16. Aina eivät kaikki kuvat onnistu täysin. Tässä on esimerkki spiraaligalaksista M 51. Kuva on otettu 21.4.-74 filmille 103 aF. Valotusaika oli 30 minuuttia ja kaukoputkena oli 20 cm:n f:5 peilikaukoputki.

Tämän mukaan voi kaukoputkella, jonka polttoväli on 2000 mm, kuvata ilman hienoliikuntalaitetta 1/5 sekunnin ajalla polttopisteessä, jolloin kuva on vielä hyvä. Tästä voi nopeasti laskea, että pitempään valotettaessa on seurantatarkkuuden oltava noin 3", joka on hyvin pieni kulma, sillä $1^s = 15''$. Tällöin pitäisi seurantakaukoputkessa olla suurennusta vähintään 200 kertaa. Aina ei kuitenkaan haittaa, vaikka kohde onkin hieman liikkunut. Varsinkin komeetat liikkuvat tähtien suhteen joskus nopeastikin.

Esimerkki: Kuvaamme Kuuta kaukoputkella, jonka objektiivin polttoväli on 1200 mm ja halkaisija 60 mm. Käytämme 20 mm:n okulaaria sekä kameraa, jossa on 45 mm:n objektiivi. Kuinka pitkään täytyy Kuuta valottaa 21 DINin filmille? Kuinka suureksi Kuu tulee negatiiville?

Laskemme ensin F_n .

$$F = 1: \frac{1200 \text{ mm} \cdot 45 \text{ mm}}{60 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm}} = 1:45; f_{\text{eff}} = 45 \cdot 60 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}$$

Taulukon 1 avulla saamme valotusajaksi noin 1/8 sekuntia. Koska efektiivinen polttoväli on 2700 mm, täytyy kaukoputkessa olla hienoliikuntalaitte. Tässä tapauksessa riittää myös käsihienoliikunta. Kun otamme huomioon, että Kuun näennäinen halkaisija on noin $0,5^\circ$, saamme Kuun kooksi negatiivilla noin 24 millimetriä.

$$S = \frac{0,5^\circ \cdot 2700 \text{ mm}}{57,3^\circ} \approx 24 \text{ mm}$$

LISÄÄ FILMEISTÄ

Filmin kehitys ei ole monimutkaista. Ei tosin maksa paljoakaan, jos sen kehityttää valokuvausliikkeessä. Ainoa vika on vain se, että valokuvausliikkeessä kehitetään kaikki filmit samalla tavalla eli "normaalisti" suurissa erissä. Itse kehitäessä voi säädellä tulosta kohtalaisesti.

Valokuvattaessa havaitaan jo, että kuvattavan kohteen eri osat ovat kirkkaudeltaan erilaisia. Yleensä tavallisissa kuvauksissa kirkkauden vaihtelut kuva-alassa ovat niin suuria, ettei negatiivi voi toistaa sitä. Näin ollen kohteen kirkkausasteikko on negatiivissa supistettu pienemmäksi, kuitenkin niin, että kohteen kirkkaiden suhteet säilyvät oikeina. Tästä saadaan määriteltyksi valokuvauksessa tärkeä negatiivin γ -arvo (gamma-arvo): Negatiivin gamma-arvo on 1,0 jos kohteen kahden osan kirkkaiden ero on yhtä suuri kuin vastaavien harmaasävyjen tummuusero negatiivilla. Jos filmi kehitetään normaalisti, se kehitetään gamma-arvo 0,7. Jyrkästi (kontrastisesti) kehitetyn filmin gamma-arvo on 0,9 – 1,0 ja loivasti (jyrkän vastakohta) kehitetyn filmin 0,4 – 0,5.

Filmin γ -arvo riippuu kehityssajasta. Kehitysaikaa säätelämällä saadaan eri jyrkkyyksiä negatiiveja. Ylikehitys aiheuttaa sen, että yhä useampia hopeajyvänen tulee mustana näkyviin, kuitenkin vain johonkin tiettyyn tummuuteen asti, ja negatiivi tulee jyrkemmäksi. Ylikehitys siis lisää negatiivin jyrkkyyttä, kun taas alikehitys loiventaa sitä. Ylikehitys myös herkistää filmiä jonkin verran. Näennäinen herkkyys riippuu siis kehityssajasta sekä käytetystä kehitteestä. Tähtivalokuvauksessa kohteet yleensä ovat himmeitä eikä niillä ole suuriakaan kontrastieroja. Näinollen kannattaa kehittää filmit jyrkähköiksi kohteen mukaan. Olen yleensä tärkeät filmit kehittänyt vastatehdyllä ja käyttämättömällä kehitteellä noin 50 % yli normaalin kehityssajan. Gamma-arvoksi on tällöin tullut 0,9 – 1,0. Ylikehittämiselläänkin on rajansa. Ei kannata kehittää filmiä yli kaksinkertaisen normaalin kehityssajan, sillä filmi alkaa silloin tummua yleisesti eli tulla harmaaksi. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että kehite, joka sisältää voimakkaita pelkistimiä, pelkistää jopa valottumattomista hopeayhdisteistä metallista hopeaa.

Jos jollakulla on mahdollisuus myös tehdä suurennoksia itse, hän saa varmasti parempia kuvia, kuin valokuvausliikkeessä teetetyt olisivat. Valokuvauspaperien suhteen pätee kontrasteihin nähden sama juttu kuin



Kuva 17. Maan valaisema Kuun osa eli maatamo näkyy Kuun sirpin lisäksi. Kuva on otettu 20 cm:n $f:5$ peilikaukoputken polttopisteessä sekunnin valotusajalla filmille Tri-X. Kuva otettiin 18.3.-72. Uusikuu oli kolme päivää aikaisemmin.



Kuva 18. Nostopainosumu eli Dumbbel kuvattu 14.9.-74 filmille 103 aO. Kuva on otettu 20 cm:n f:5 peilikaukoputken polttopisteessä valotusajalla 10 minuuttia.

filmeille. Laboratoriot laittavat kuvat, ellei erikseen mainita, normaalille paperille. Valokuvien kontrastisuutta ei kuitenkaan säädelä paperien kehitysajalla, vaan paperit on jo tehtaassa valmiiksi tehty eri jyrkkyyksiksi. Parasta olisi käyttää tähtikuvissa jyrkkää tai erittäin jyrkkää paperia, siitä huolimatta, että negatiivi on jyrkästi kehitetty. Varsinkin tähtien kuvissa saa tällöin taivaan helposti mustaksi, tähtien silti himmenemättä ja tähtikuva tulee luonnollisemman näköiseksi. Erittäin harvoin tai tuskin koskaan tarvitaan loivaa eli pehmeätä paperia, vain joissain kovin ylivalotetuissa kuvissa.

FILMIN HERKISTÄMINEN

On muitakin tapoja herkistää filmejä kuin vain ylikehittäminen. Menetelmiä on ainakin neljä erilaista: elohopeahöyryllä herkistäminen, ammoniakkikylpy, niin sanottu paistaminen ("baking") ja hiilihappojään lämpötilassa kuvaaminen. Paistamisessa pidetään filmiä kymmeniä jopa satoja tunteja 60–70 asteen lämpötilassa. Hiilihappojään lämpötilassa (-79°)

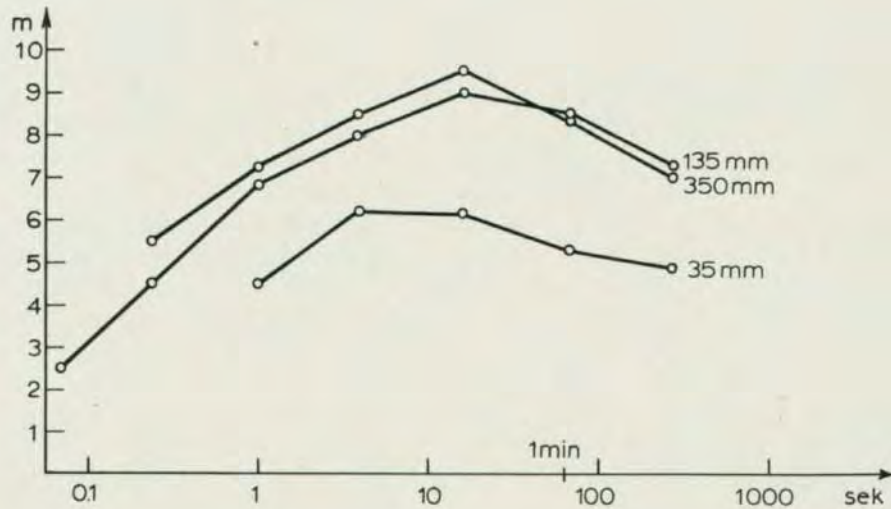
kuvaamisessa tarvittaisiin melko välttämättömästi tyhjää, sillä filmi jäädytetään kuvauksen ajaksi -79 asteeseen. Tällöin se herkästi huurtuu, mikä estetään laittamalla filmin eteen lasiastia joka on pumpattu tyhjäksi. Näitä menetelmiä en itse ole vielä kokeillut.

VÄRIKUVAUS

Värikuvausta ei ole myöskään syytä unohtaa. Värivalokuvia voi ottaa aivan kuten mustavalkoisia, mutta jos jostain kohteesta haluaa saada hyvän värikuvan, on valotuksen oltava hyvin lähellä oikeata. Tällöin tulevat värit mahdollisimman luonnollisiksi. Valokuvattaessa tähtitaivasta ja sen kohteita, tulevat kohteiden värit hyvin näkyviin, kuitenkin vain lyhyillä ajoilla (viiteen minuuttiin asti) ne ovat suhteellisen oikeita. Hyvin pitkään valotettaessa tulevat kohteet, varsinkin sumut ja muut pintakohteet, positiivissa vihertäviksi. Jos haluaa ottaa värikuvia, kannattaa käyttää diapositiivifilmiä, siis sellaista, josta kehitettäessä tulee suoraan positiivikuvia. Agfan CT 18 diafilmille (18 DIN) otin kerran Jupiterista kuvia pääasiassa sekunnin valotusajalla. Jupiterin punainen pilkku tuli hyvin näkyviin. Lisäksi tuli näkyviin kolme Jupiterin kuuta (neljäskin olisi tullut, jos olisi ollut kuvakentässä). Ne näkyvät kuitenkin heikosti. Mustavalkofilmille en ole sekunnin valotusajalla saanut vielä näkyviin Jupiterin kuita. Kuuta kannattaa kuvata myös värifilmille, samoin tähdistöjä ja kenties mitä vain. Toinen filmi, joka on edellistä paljon herkempi, on Kodakin High Speed Ektachrome. Tämä on erittäin sovelias sumu- ja tähtikuvaukseen, jossa käytetään useiden minuuttien valotusaikoja. Sen voi kehittää normaalin 23 DINin lisäksi 27 tai 30 DINin mukaan.

FILMITESTIT

Mielestäni filmitestit ovat erittäin tärkeitä. Jokaisen, joka aikoo kuvata lähinnä tähtiä ja tähdistöjä, meteoreja tai joitain muita mielenkiintoisia kohteita, kannattaa tehdä omalla objektiivillaan filmitesti, so. ottaa sarja kuvia eri filmeille sekä huonoimmissa olosuhteissa, siis täysikuulla että parhaissa olosuhteissa, siis uudenkuun aikana ja hyvin selkeänä yönä. Valotusajat voisivat olla 1,2,4,8,15,30 sekuntia ja 1,2,4,8,15 ja 30 minuuttia. Filmeinä voi käyttää 17, 22 ja 27 DINin filmejä. Kuvaus kannattaa tehdä sellaiseen suuntaan, jossa on paljon tähtiä tunnistettavissa, ja jokaisesta negatiivista pitäisi etsiä himmeimpien tähtien suuruusluokka. Tämän jälkeen voi tuloksensa piirtää koordinaatistoon, jossa vaaka-akselina on valotusajan logaritmi ja pystyakselina himmein näkyvä suuruusluokka. Jos kuvauksen on tehnyt paikallaan olevalla kameralla, mutta ei taivaannavan suuntaan, saadaan seuraavan näköinen tulos:



Kuva 19

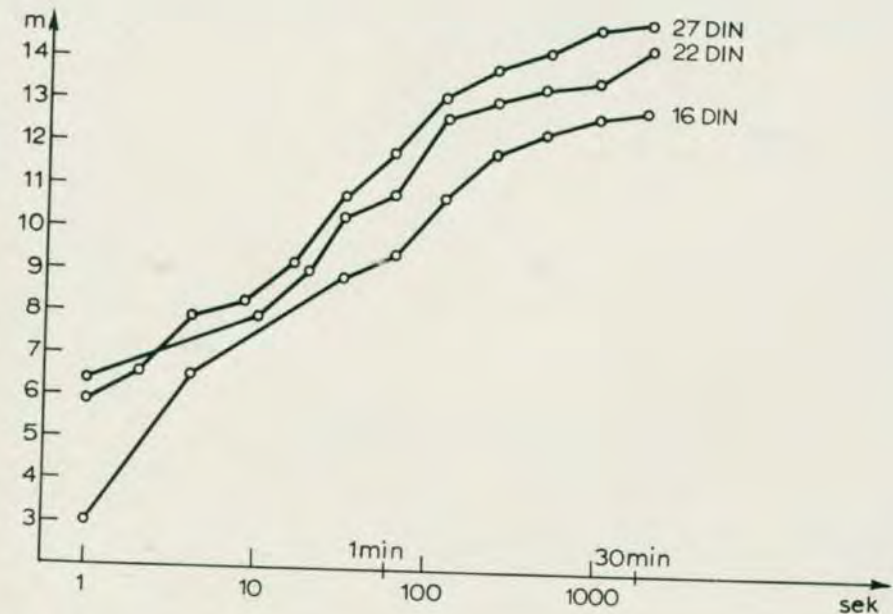
Otin kerran täysikuulla em. tavalla Tri-X-filmille (27 DIN) kuvia valotusajoilla 1/250 sekunnista 4 minuuttiin siten, että aina nelinkertaistin ajan. Tulos oli seuraava.

objektiivi	35mm f:2,8	135mm f:2,8	350mm f:5,6
paras valotusaika	n. 6 sek	n. 30 sek	n. 15 sek
heikoimman vielä näkyvän tähden suuruusluokka	6 ^m ,8	9 ^m ,6	9 ^m ,5
negatiivi alkaa mustua	4 sek	4 sek	4 sek
valotusmittarin avulla katsottu kahden yksikön mustuma	n. 25 sek	n. 40 sek	n. 70 sek

Tämä osoittaa sen, että valovoimaisella normaaliobjektiivilla ei kannata kuvata täysikuulla, ainakaan 27 DINin filmille. Sen sijaan kauko-objektiiveilla voi yrittää. Paras tulos on siis suurempolttovälisellä kauko-objektiivilla. Tein

testit Plejadeista eli Seulasista sekä Perseuksen tähtikuviosta. Testistä huomasin toisenkin merkittävän seikan: pitempipolttovälisillä objektiiveillahan kuva alkoi liikkua jo valotusajoilla 1,2 sek (350 mm) ja 3,2 sek (135 mm), mutta kuitenkin parhaat valotusajat olivat vastaavasti 15 ja 30 sekuntia. Tällä välillä tuli yksi suuruusluokka lisää näkyviin. Tämä johtuu filmin ominaisuuksista. Filmiä ei ole tehty erittäin heikkoja kohteita varten, vaan tavalliseen kuvaukseen, jossa täytyy saada kuvia sekunnin kymmenesosilla.

Jos taas tekee testin niin, että valottaa Pohjantähden ympäristöä, jolloin tähdet liikkuvat vain erittäin vähän, saadaan aivan toisennäköinen tulos. Innokas tähtivalokuvaaja Tuomas Lamminpää otti ihanteellisissa olosuhteissa kolmelle filmille sarjan kuvia. Sain filmit katsottavaksi ja tein niistä testikäyrät. Niistä tuli seuraavanlaisia:



Kuva 20

Kuvat oli otettu 200 millisellä kauko-objektiivilla 27, 22 ja 16 DINin filmille. Käyrät tulivat lähes samanmuotoisiksi ja herkin filmi oli myös pitkillä valotusajoilla herkin ja hitain myös hitain. Kaupasta saatavista filmeistä on



Kuva 21. Komeetta Bradfield 1974b näkyi Suomessa hienosti mainitun vuoden huhtikuussa. Kuva on otettu 11.4.-74 ja valotusaika oli 15 minuuttia. Kaukoputkena oli 20 cm:n f:5 reflektori ja filminä 103 aF.

tähti- ja sumukuvaukseen parhaiten soveltuva filmi Kodakin Tri-X, joka on 27 DINin filmi. Myös muut 27 – 30 DINiset filmit ovat lähes yhtä soveliaita, mutta pitkään valotettaessa ovat Tri-X:n ominaisuudet muihin verrattuna hiukan paremmat. Yli 30 DINiset filmit ovat jo liian rakeisia ja alle 24 DINin filmit liian hitaita. Tri-X:ää voi D-76:lla ylikehittää melko roimasti filmin rakeisuuden juuri lisääntymättä, mutta herkkyuden ja kontrastisuuden silti kasvaessa.

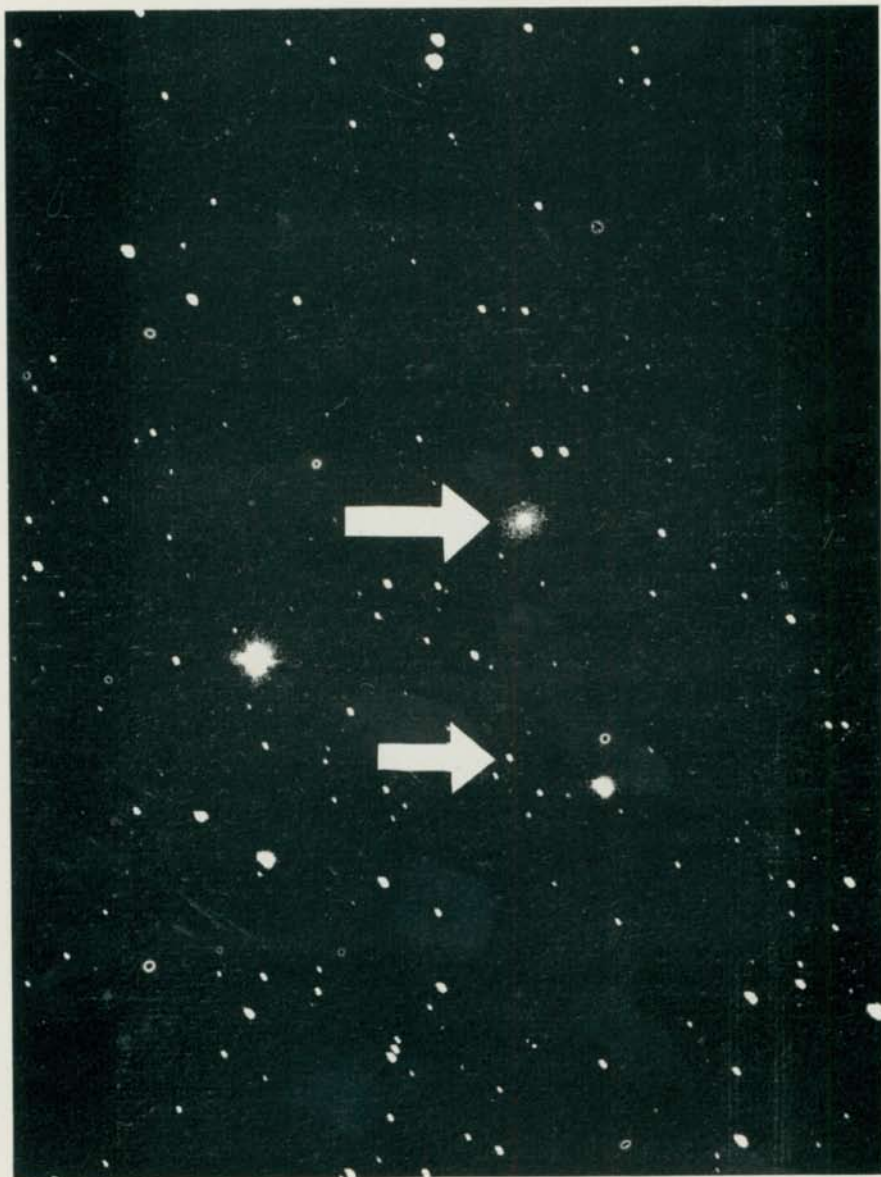
Lisäksi on olemassa näitä filmejä huomattavasti parempia, erityisesti tähtivalokuvaukseen soveltuvia erikoisfilmejä. Nämä ovat sopivia vasta kun käytetään tunnin luokkaa olevia valotusaikoja, mutta ennenkuin tällaisia tarvitaan, on tavallisia filmejä kulunut kymmeniä, kenties satoja metrejä. Tänä aikana on tullut kokemusta, joka juuri tähtivalokuvauksessa on niin tärkeää, aimo annos lisää.

Tällaisia testejä olisi hyvä tehdä, jotta tuntisi omat laitteensa. Jos joskus tulee tärkeää kuvattavaa, on ainakin itse selvillä, mitä filmiä ja mitä systeemiä kannattaa käyttää saadakseen parhaat mahdolliset kuvat. Tällöin säästyy ainakin turhilta ”susikuvilta”.

Jokaisesta tähtikuvasta tulisi merkitä muistiin kuvausaika mahdollisimman tarkkaan, valotusaika, laite, jolla kohde on kuvattu, aukkosuhde ja polttoväli sekä käytetty filmi. Tämä on parasta tehdä heti kuvauksen jälkeen, sillä muuten se helposti unohtuu.



Kuva 22. Kolme spiraaligalaksia Leijonan tähdistössä. Nämä ovat M 65, M 66 ja NGC 3628. Kuva on otettu 24.3.-74 filmille 103 aF. Kaukoputkena oli 20 cm:n f:5 peilikaukoputki.



Kuva 23. Kuvassa on Pluto ja pieni galaksi NGC 4689. Kuva on otettu 20 cm:n f:5 peilikaukoputkella 11.4.-74 filmille 103 aF. Valotusaika oli 26 minuuttia.



Kuva 24. Komeetta Kohoutek, kuvattu 350 mm f:5,6 objektiivilla filmille 103 aF noin 7 minuutin valotusajalla 11.1.-74 kello 18. Kuvan poikki menevä katkoviiva on lentokoneen aiheuttama.

KIERTOKONEISTO HARRASTAJAN KAUKOPUTKEEN

Vilppu Pirola

Tavallisin este tehokasta tähtivalokuvausta suunnittelevan harrastajan tiellä on se, ettei kaukoputkessa ole kiertokoneistoa, jolla tähti voitaisiin valotuksen kestäessä seurata. Tällöin on pakko tyytyä melko vaatimattomiin valotusaikoihin tai lyhytpolttovälisiin objektiivieihin. Kohteen vaeltaminen näkökentässä ja tuon tuostakin tarvittava kaukoputken suunnan korjaus häiritsevät myös silmähavaintoja.

Yleensä kiertokoneistoissa on tuntiakseliin kiinnitetty isokokoinen hammaspyörä, jota käännetään tangentialisen ruuvin avulla. Tämä ns. kierukkapyörä eli matopyörä (engl. worm wheel, worm = kierukka, mato) on kuitenkin hankala valmistaa ja melko pienenkin kierukkapyörän hinta ylittää useimpien harrastajien mahdollisuudet.

Riittävän tarkka kaukoputken käyntilaite on mahdollista rakentaa ilman kierukkahammaspyörää tai muita vaikeasti valmistettavia osia. Nyt esitettävien ratkaisujen tarkoitus ei ole syrjäyttää aikaisempia, mutta ne antavat mahdollisuuden päästä normaalioloissa riittävään tarkkuuteen ilman ylivoimaisia kustannuksia.

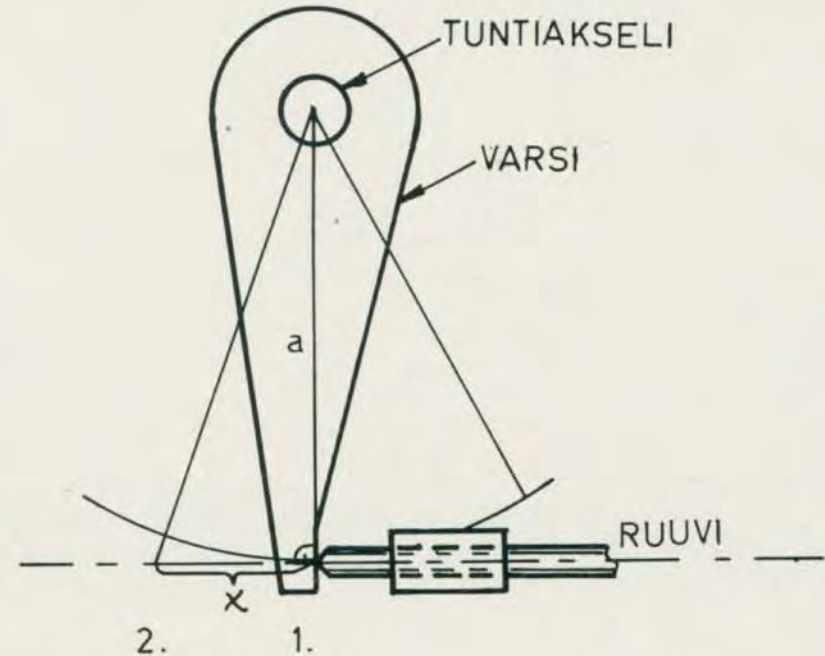
1. Akselinsa suuntaisesti liikkuva tangenttiruuvi

Virhe ja sen merkitys. Useimmille tuttu kaukoputken kääntämistapa on kuvassa 1. Monet ovat käyttäneet sitä ainakin käsin ohjattuun hienoliikuntaan. Tuntiakseli on kuvassa paperin tasoa vastaan kohtisuorassa ja sitä käännetään varren välityksellä akselinsa suuntaisesti liikkuvan ruuvin avulla.

Jo ensi silmäyksestä selviää, ettei tasaisella ruuvin liikkeellä saada tuntiakselia kiertymään tähtien vuorokautisen liikkeen mukaisesti. Jos ruuvin liike valitaan sellaiseksi, että tuntiakselin kiertymisnopeus on oikea varren ollessa kohtisuorassa ruuvia vastaan, siis asennossa 1. (kuva 1), virhe kasvaa kiihtyvällä nopeudella varren siirtyessä pois keskikohdasta. Mutta ennen kuin hylkäämme menetelmän tutkikaamme kuinka suuri virhe todellisuudessa on.

Oletetaan, että ruuvi on tietyssä aikana siirtynyt matkan x (kuva 1). Tällöin tuntiakselin olisi pitänyt kääntyä **kaarta** x vastaavan **kulman**, eli absoluuttimitassa kulman x , jos valitsimme varren pituudeksi $a = 1$. **Se** on kuitenkin siirtynyt vain kulman, jonka tangentti on x . Melko yksinkertaisen laskutoimituksen¹ jälkeen saamme virheeksi

$$e = -0''.0057 \left(\frac{t}{\text{min}} \right)^3, \quad (1)$$



KUVA 1. Tuntiakselin kierto varren ja tangenttiruuvien avulla.

missä t sijoitetaan aikaminuutteina siten, että varren ollessa keskikohdassa ajalla on arvo nolla. Kaavasta saadaan siis virhe e kulmasekunneina hetkellä t minuuttia ennen tai jälkeen keskiasennon. Jos esim. $t = 10$ min, on $e = 0''.0057 \cdot 10^3 = 0''.0057 \cdot 1000 = 5''.7$. Mikäli siis kaukoputki suunnataan tähteen varren ollessa keskiasennossaan, on tähti 10 minuutin kuluttua siirtynyt näkökentässä $5''.7$. Kaava (1) on vain likimääräinen, mutta pitää hyvin tarkasti paikkansa, jos t on alle pari tuntia.

¹ Virhe on siis $\arctan x - x$. Kun käytämme $\arctan x$ n sarjakehitelmää, saamme

$$e = \arctan x - x = \left(x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \dots \right) - x \approx -\frac{x^3}{3} \text{ rad},$$

koska x on pieni. Tästä seuraa yksiköiden muuttamisen jälkeen kaava (1).

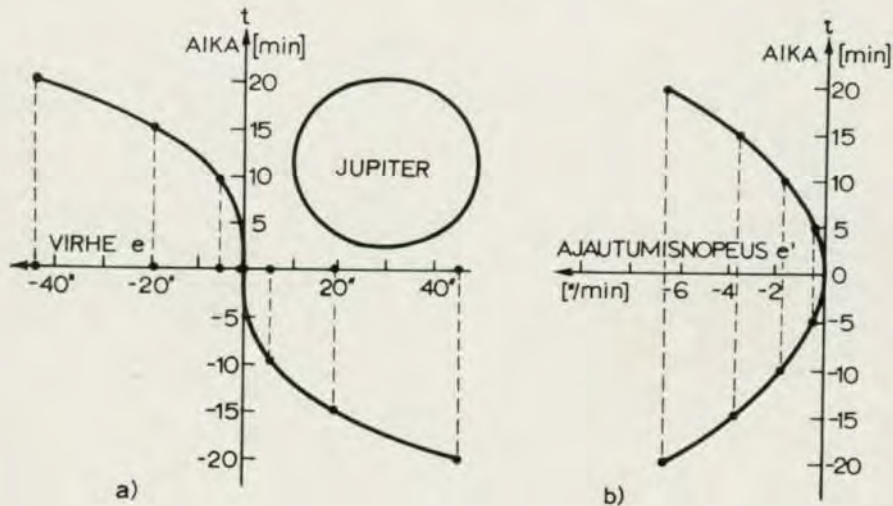
Virheen muutos ajan mukana on esitetty kuvassa 2a. Voimme havaita, että 40 minuutin aikana virhe on vain Jupiterin näennäisen läpimitan verran keskikohtan molemmin puolin. Kuva esittää tilannetta yösalaisin kääntävässä kaukoputkessa. Luonnollisesti ei käyntilaitteesta aiheudu pystysuorassa suunnassa mitään virhettä, vaan tähtien liike tapahtuu vaakasuoran akselin suuntaisesti oikealta vasemmalle.

Edellä olevassa tapauksessa ei kaukoputken suuntaa korjattu lainkaan. Tähtivalokuvausta varten meitä kiinnostaa lähinnä se, millä nopeudella virhe muuttuu, ts. kuva vaeltaa näkökentässä. Tämä on mahdollista johtaa kaavasta (1). Tulos, eli kuvan ajautumisnopeus hetkellä t , on

$$e' = -0'' \cdot 0171 \frac{t^2}{\text{min}^3} \quad (2)$$

Kun sijoitamme oikealle puolelle ajan t minuutteina ennen tai jälkeen varren keskiasennon, saamme tähtien ajautumisnopeuden kyseisenä hetkenä yksiköissä $''/\text{min}$ (kuva 2b).

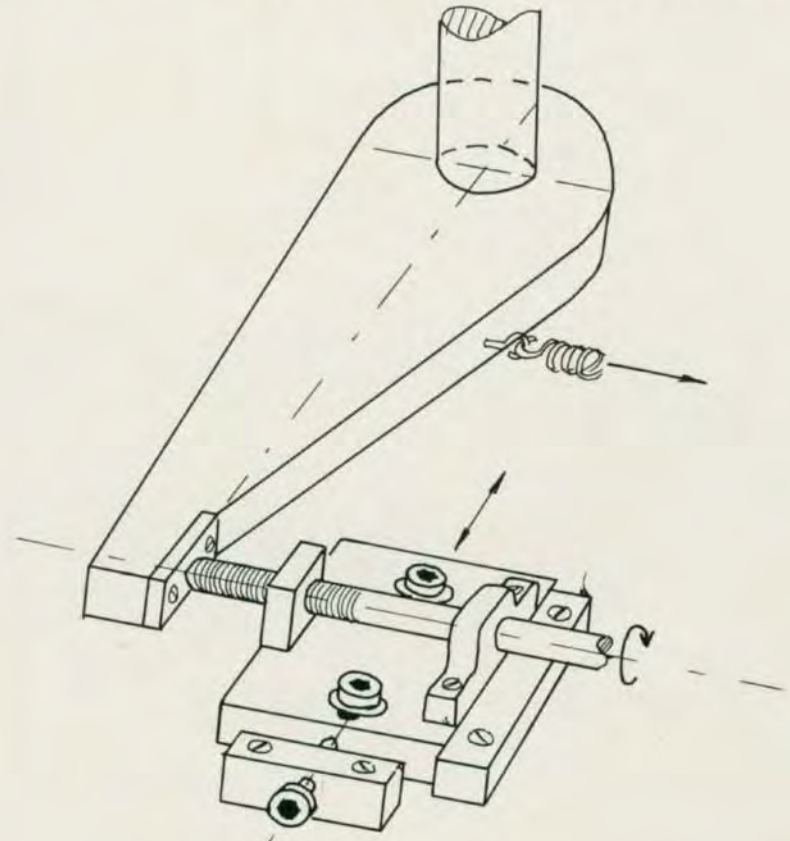
Jos pyrimme valokuvauksessa $5''$ erotuskykyyn, mikä on harrastajavälineillä hyvä saavutus, on kuvan 2b mukaan kaukoputken suuntaa korjattava 40 min valotusajan alussa ja lopussa pari kertaa minuutissa. Lähempänä



KUVA 2. Tähtien paikan muuttuminen (a) ja ajautumisnopeus (b) kaukoputken näkökentässä tangenttiruuvikoneistoa käytettäessä ennen virheen kompensointia.

keskikohtaa korjausta tarvitaan harvemmin ja valotusajan keskellä on 15 minuutin jakso, jonka aikana ei korjausta tarvita lainkaan (kts. myös kuva 2a). Käytännössä on mekaanisten epätarkkuuksien ja muuttuvan refraktion takia kaikkein tarkimpienkin kellolaitteiden kiertämiä kaukoputkia ohjattava. Näin ollen ei kiertokoneistomme periaatteesta aiheutuvalla virheellä ole käytännössä sanottavaa merkitystä tarkasteltuna 40 min valotusaikana. Lisäksi pieni virhe voidaan yksinkertaisella tavalla automaattisesti kompensoida, kuten jäljempänä havaitsemme.

Kiertonopeuteen vaikuttavat tekijät. Tuntiakselin kiertonopeuteen vaikuttavat varren pituus a , ruuvin nousu kierrosta kohti h ja pyörimisnopeus f .



KUVA 3. Varren pituuden säätö

Näiden kolmen suureen välille voidaan johtaa seuraava yksinkertainen yhtälö

$$a = 228.5 hf \quad (3)$$

Tässä on f sijoitettava kierroksina minuutissa. Suureista voidaan kaksi valita mielivaltaisesti ja kolmas määräytyy kaavasta (3). Jos esim. $h = 1$ mm ja $f = 1$ r/min, on $a = 228.5 \times 1 \times 1$ mm = 228.5 mm.

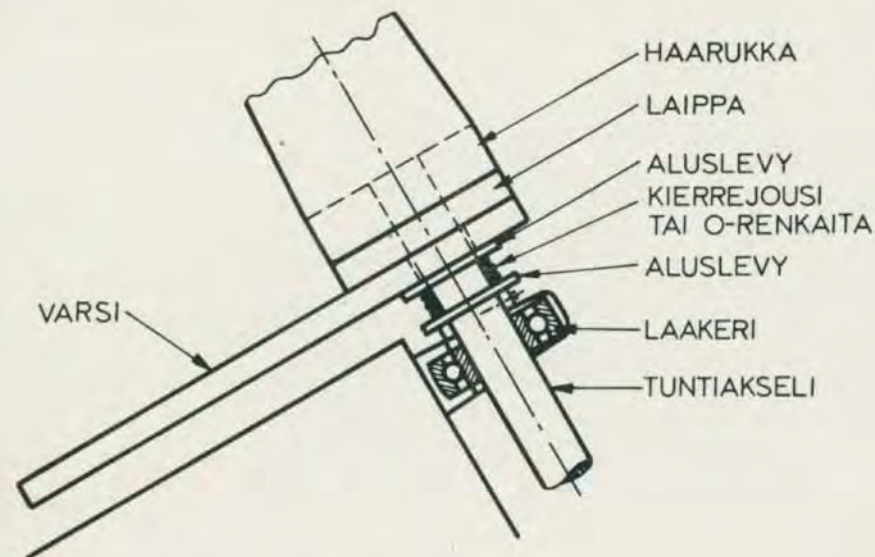
Jos kiertolaitteen rakentaja tekee huolellista työtä ja hänellä on vielä onnea mukanaan, voi sattua, että nopeus varren keskiasennossa tulee oikea. Parasta on kuitenkin järjestää mahdollisuus nopeuden säätöön. Parhaiten tämä tapahtuu muuttamalla varren pituutta a . Tätä varten on ruuvi kiinnitettävä alustaan, jota voidaan siirtää lähemmäs tai kauemmas tuntiakselista. Koska tarkkaa kiertonopeutta säädettäessä on kysymys millimetrin osista, on hyvä, jos siirto voi tapahtua sopivan ruuvin avulla (kuva 3).

Jotta ruuvin kärjen liike vartta vasten saataisiin mahdollisimman tasaiseksi, kiinnitetään varteen sileä teräslevyn pala, jonka jatke kulkee tarkoin tuntiakselin keskipisteen kautta. Levyn on kiinnitettävä pysyvä suorana, sillä vääntyminen suuntaan tai toiseen aiheuttaa virheitä. Käyntiruuvin kärkeen sorvataan pieni pallonpinta tai vielä paremmin kolo, johon tiukasti sopii pieni laakerikuula.

Siitä, että ruuvin kärki on pallonpinta eikä piste, aiheutuu pieni kiertonopeuden muutos, joka ennen keskiasentoa hiukan kasvattaa ja keskiasennon jälkeen pienentää virhettä. Jos kuulan läpimitta on pienempi kuin 1/100 varren pituudesta, kuten käytännössä on laita (2–3 mm), on muutos merkityksetön.

Käyntiruuvien tulee olla niin tarkka kuin on mahdollista kohtuullisin kustannuksin. Vaatimukset vähenevät jonkin verran vartta pidennettäessä. Kun ruuvin nousun 0.01 mm:n muutos aiheuttaa 10'' käyntivirheen varren pituuden ollessa 20 cm, virhe on vain 2'' käytettäessä 1 m:n vartta. Tässä meille selviääkin yksi käyntilaitteemme tärkeä etu. Kierukkahammaspyörää käytettäessä jää säde pakostakin melko pieneksi ja nopeasti muuttuvat virheet ovat tavallisesti useita kymmeniä, jopa satoja, kulmasekunteja. Sen sijaan metrin mittainen käyntövarsi on vielä mahdollisuuksien rajoissa ja suhteellisen karkeatekoisellakin ruuvilla voidaan päästä hyvään tulokseen.

Varren kiinnitys tuntiakseliin on tehtävä siten, että kaukoputki pääsee suunnattaessa kiertymään helposti, mutta kohdetta seurattaessa mahdollisimman vähän varren suhteen. Tapoja on useita, yksi niistä on kuvassa 4. Varsi pääsee liikkumaan tuntiakselissa, jota varten poratun reiän väljyys saa olla n. 1 mm. Varsi puristuu tuntiakseliin kiinnitettyä laippaa vasten alapintansa ja ylemmän laakerin yläpinnan välissä olevan kierrejousten tai muutaman



KUVA 4. Varren kiinnitys tuntiakseliin

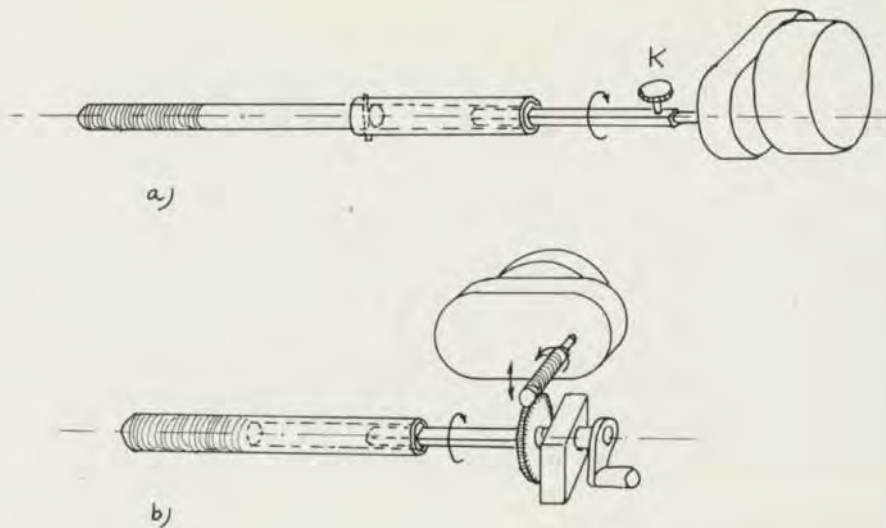
päällekkäisen kumirenkaan (ns. O-renkaan) vaikutuksesta. Kitka säädetään sellaiseksi, että kaukoputki on helppo suunnata mutta suuntaus ei kuitenkaan pienestä tönäisystä muutu. Säätö tapahtuu siirtämällä tuntiakselia pystysuunnassa ja akseli on joko voitava kiinnittää laakereihinsa tai tuettava alapäästään. Rakennetta voidaan edelleen kehittää siten, että varsi tavalla tai toisella vedetään irti laipasta suuntauksen ajaksi. Varren ja laipan välistä kitkaa ei kuitenkaan kannata nostaa kovin suureksi, koska tällöin kiertokoneisto voi vaurioitua kaukoputken joutuessa voimakkaan tönäisyn kohteeksi.

Sekä varsi, että käyntiruuvien alusta tulee tehdä mahdollisimman tukeviksi, mieluummin vankasta teräslevystä. Hätäratkaisuissa voi tietenkin käyttää puuta.

Moottorin asennus. Koska ruuvi liikkuu akselinsa suuntaisesti, on voimansiirron moottorista ruuviin mukauduttava tähän tai moottorin seurattava ruuvia.

Tarvittava välityskappale voidaan tehdä esim. putkesta ja sen sisään sopivasta nelikulmaisesta tangosta, joka pääsee liukumaan putken päässä olevan nelikulmaisen aukon läpi (kuva 5a). Ruuvi voidaan kenties porata sorvattaessa ontoksi, jos koneisto halutaan saada pienempään tilaan (kuva 5b).

Toinen tapa on kiinnittää moottorin akseli tarkasti ja tukevasti ruuviin, jolloin itse moottorin on päästävä tasaisesti liukumaan ruuvin akselin



KUVA 5. Voimansiirto

suunnassa. Tämä tapa asettaa kuitenkin korkeammat vaatimukset laitteen rakenteelle, koska moottorin tärinä välittyy helposti itse kaukoputkeen.

Virheen kompensointi. Vaikka käyntilaitteen systemaattinen virhe onkin pieni, on vielä kauniimpaa, ellei sitä ole lainkaan. Ruuvin tasaisesti etenevä liike antaa hyvän mahdollisuuden virheen kompensointiin.

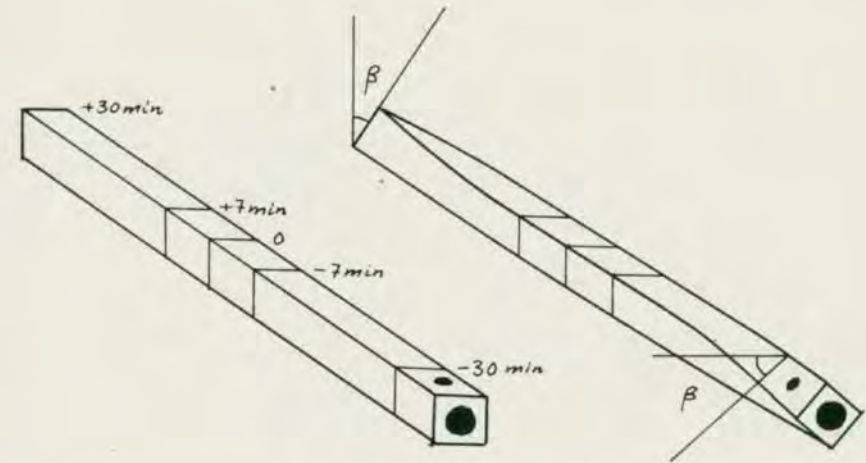
Kiinteää moottorin asennustapaa käytettäessä voidaan välitystanko kiertää siten, että ruuvin edessä ja nelikulmaisen aukon liikkeessä pitkin tankoa kiertymiskulman muutos kompensoi virheen (kuva 6).

Tarvittava kiertymiskulma on helppo laskea, kun muistamme, että minuutin aikana ruuvin kiertymä kulma ($= f \cdot 360^\circ$) kääntää kaukoputkea tähtien minuutissa kulkeman matkan $900''$. Tästä seuraa, että korjaukseen e vaadittava kiertymiskulman muutos on

$$\beta = \frac{e}{900''} \cdot f \cdot 360^\circ = 0.4 \text{ fe} \quad (4)$$

Jos esim. f on yksi kierros minuutissa, saadaan tangon kiertymiskulma asteina kertomalla ajankohdan virhettä kulmasekunteinä osoittava luku 0.4:llä. Virhe e saadaan kaavasta (1) tai kuvasta 2a.

Kiertämisen helpottamiseksi on tanko tehtävä pehmeästä metallista, esim.



KUVA 6. Virheen kompensointi välitystankoa kiertämällä

alumiinista, jolloin kierto voi tapahtua ruuvipenkissä.

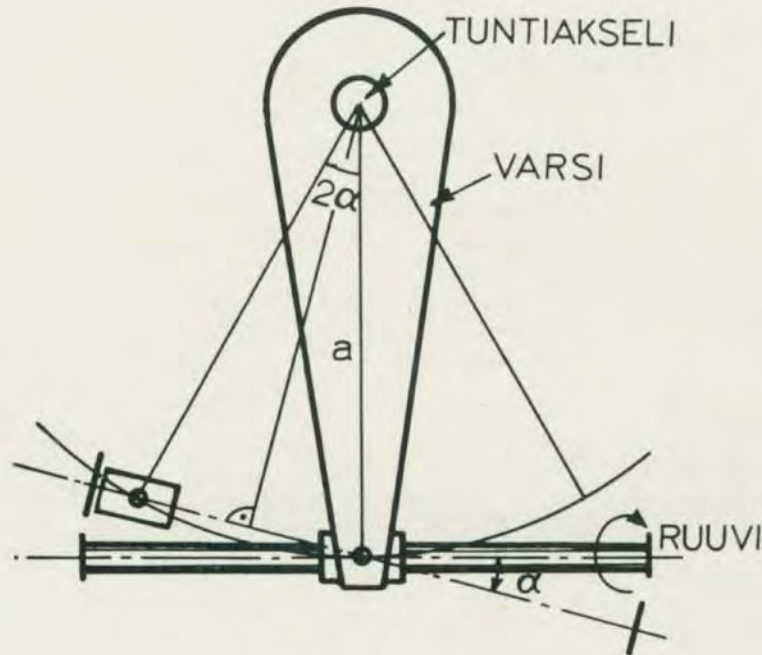
Koska käyntilaitteen virhe on hyvin pieni varren keskiasennon läheisyydessä, voidaan huomattava osa tankoa jättää suoraksi. Näin ollen tanko kannattaa kiinnittää ruuvipenkkiin siten, että kiertyminen voi alkaa esim kohdasta, jossa nelikulmainen reikä on 10 minuutin kuluttua keskiasennosta. Kun nyt tangon loppupää kierretään haluttuun kulmaan, kiertyy myös välialue todennäköisesti määrän, jolla saavutetaan riittävän tarkka kompensatio. Kiertymiskulma voidaan tarkistaa viivaimen ja astelevyn avulla. Ellei tulos tyydytä, on kierto suoritettava useassa osassa. Sama toimenpide suoritetaan tangon toiselle päälle. Tällöin tanko kiinnitetään penkkiin siten, että kiertyminen voi alkaa kohdasta, jossa nelikulmainen reikä on 10 min. ennen varren keskiasentoa.

Kompensaatiota käytettäessä voidaan yhtäjaksoista käyntiaikaa pidentää. Tällöin kuitenkin myös vaadittava ruuvin pituus kasvaa ja pitkän ruuvin pitäminen tarkalleen samansuuntaisena tuottaa vaikeuksia. Toinen rajoittava tekijä on se, että kompensatioon tarvittava kiertymä jyrkkenee aikaa pidennettäessä. Näistä syistä johtuen ei kannata mennä juuri tunteja pidempiin käyntiaikoihin, mikäli halutaan paras mahdollinen tarkkuus. Siihen ei liene paljon airettakaan, koska noin minuutin vievän takaisinkelauksen jaksaa toki kerran tunnissa suorittaa.

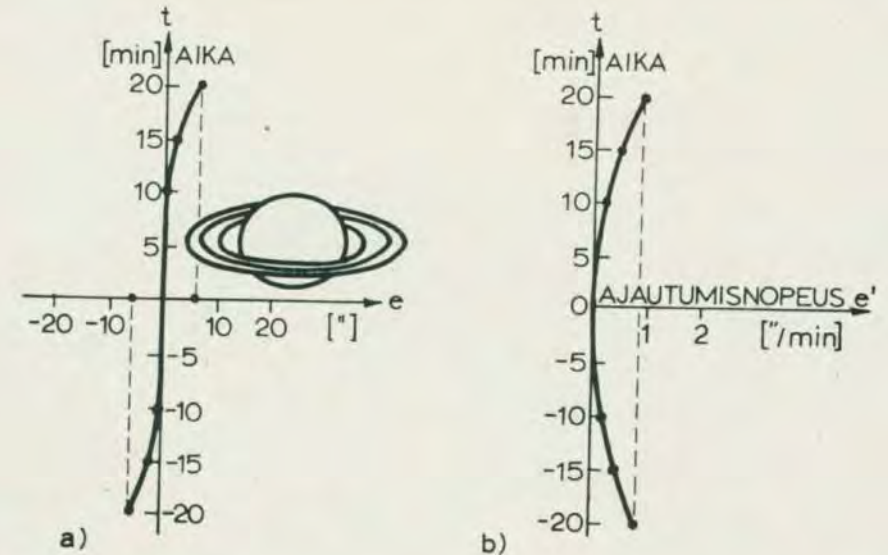
Takaisinkelausta voidaan haluttaessa helpottaa esim. nelikulmaiseen tankoon liitetyn kammen tai takaisinkelausmoottorin avulla. Tässä harrastaja voi käyttää vapaasti mielikuvitustaan ja mahdollisuuksiaan. Takaisinkelauksen ajaksi on synkronimoottorin akseli irroitettava voimansiirrosta (ruuvi K, kuva 5a) tai välitysruuvi käännettävä pois hammaspyörältä (kuva 5b).

Esimerkkejä sopivista ruuvin nousun h ja kiertonopeuden f sekä varren pituuden a arvoista ja korjaukseen tarvittava kiertymä β yhden tunnin käyntiajan alussa ja lopussa.

f r/min	varren pituus a (mm)			β (o)
	$h=1$ mm	$h=1.5$ mm	$h=2$ mm	
0.5	114.3	171.4	228.5	30.8
1	228.5	342.8	457.0	61.6
1.5	342.8	514.2	685.5	92.4
2	457.0	685.5	914.0	123.2



KUVA 7. Tuntiakselin kierto varren ja sekanttiruuvien avulla



KUVA 8. Tähtien paikan muuttuminen (a) ja ajautumisnopeus (b) kaukoputken näkökentässä sekanttiruuvikoneistoa käytettäessä

2. Keskipisteensä ympäri kääntyvä sekanttiruuvi

Kuvassa 7 on edellistä hiukan monimutkaisemmalta vaikuttava käyntilaite, jossa tuntiakselia kiittää pyörivää ruuvia pitkin kulkeva mutteri varren välityksellä. Ruuvi on kiinnitetty molemmista päistään ja sen alusta on laakeroitu siten, että ruuvi pääsee kääntymään keskipisteensä kautta kulkevan akselin ympäri. Tämä siksi, että varteen kiinnitetty mutteri kulkee pitkin ympyränkaarta. Ruvien kääntymä kulma a on puolet varren kääntymästä kulmasta. Myös mutteri kiertyy kulman a varren suhteen.

Tämäkään kiertokoneisto ei luonnollisesti ole virheetön. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että virhe on vielä pienempi kuin edellisessä tapauksessa, koska ruuvi kääntyy varren mukana ja seuraa näin paremmin ympyränkaarta. Samanlainen matemaattinen tarkastelu kuin edellä antaa systemaattiseksi virheeksi

$$e = \frac{x^3}{24} = 0'' \cdot 000714 \left(\frac{t}{\text{min}} \right)^3, \quad (5)$$

missä t on aika minuutteina ennen tai jälkeen varren keskiasennon (kuva 8.)

Näemme, että virhe on jälleen kolmatta astetta, mutta vain kahdeksas osa edellisen tapauksen kompensoimattomasta virheestä. Virheen merkki on päinvastainen, joten kellolaite edistää, kun se tangenttiruuvien tapauksessa jätätti.

Myös virheen aikaderivaatta, eli kuvan ajautumisnopeus, pienenee kahdeksanteen osaan:

$$e' = 0''.00214 \frac{t^2}{\text{min}^3} \quad (6)$$

Rakenteellisia seikkoja. Oikeaan kiertonopeuteen tarvittavan varren pituuden voimme laskea kaavasta (3) samoin kuin tangenttiruuvienkin tapauksessa. Muutenkin rakenteessa voidaan noudattaa samoja periaatteita joitakin yksityiskohtia lukuunottamatta.

Tärkeätä laitteen toiminnan kannalta on se, että ruuvien alustan kiertoakseli ja tuntiakseli ovat likipitään yhdensuuntaiset. Ellei näin ole, syntyy kiertokoneistoon jännitystiloja varren liikkuessa. Koska ruuvien kääntymä kulma on varsin pieni, ei suuntaus kuitenkaan ole kovin kriittinen.

Koska ruuvi voi joutua keskiasennon läheisyydessä melkoisen poikittaisrasituksen kohteeksi, on tärkeää, että ruuvi on riittävän tukeva. Pituudesta riippuen olisi läpimitan oltava 15–30 mm. Riittävä läpimitta ja tukevuus on sorvattaessakin vain eduksi.

Varren on oltava pituutta säädettäessä keskiasennossaan mutterin kiinnityslevyjen pultit avattuina sen verran, että levyt ja mutteri pääsevät liikkumaan varren suhteen, kun ruuvien kiinnitysalustaa siirretään. Kiinnitysmutterien kiristyksen on niinkään tapahduttava keskiasennossa, jotta varsi ylipäänsä voisi tämän ohittaa.

Ruuvien alusta ja mutteri on syytä laakeroida kohtalaisen jäykästi, koska ruuvia kääntävän voiman momentti häviää varren keskiasennossa ja ruuvien suunta ei ole tällöin täsmällisesti määrätty. Jos ruuvien alusta on herkästi laakeroitu, epätasaisuus tuntuu takaisinkelattaessa häiritsevältä. Jotta jäykästi kääntyvä ruuvi ohittaisi keskikohdan ilman voimakkaita jännitystiloja on myös mutterin oltava likipitään yhtä jäykästi kääntyvä. Ilmiö voi aluksi tuntua oudolta, mutta käytännössä se on hyvin selvä ja luonnollinen. Varteeseen suhteellisen jäykästi kiinnitetty mutteri pyrkii keskiasennossa kääntämään ruuvia ja sattumalta oikeaan suuntaan. Kitka voidaan säätää sopivaksi mutterin kiinnitysruuvien kireyttä muuttamalla (kuva 9).

Ruuvien kääntymisnopeudessa saattaa tapahtua pieniä muutoksia keskiasennon läheisyydessä. Havaittavia käyntivirheitä niistä aiheutuu kuitenkin vain siinä tapauksessa, että ruuvien alustan kiertoakseli ei kulje läheskään ruuvien pyörimisakselin kautta. Tämän virhelähteen vaara voidaan poistaa, jos ruuvien

laakerituet ovat siirrettävissä. Säättöä varten kaukoputki suunnataan johonkin paikoillaan pysyvään kohteeseen. Sen jälkeen ruuvia alustoineen käännetään, mikä siis käy päinsä varren ollessa tarkasti keskiasennossaan. Samalla seurataan ruuvien kääntämisestä mahdollisesti aiheutuvaa kaukoputken suunnan muutosta. Jos muutosta ilmenee, siirretään laakeritukia, kunnes ruuvien kääntö ei sanottavasti vaikuta kaukoputken suuntaukseen. On huomattava, että koe on erittäin herkkä, koska ruuvia voidaan kääntää kiinnitysalustoineen useita kymmeniä asteita molempiin suuntiin, kun taas käynnin aikana sattuvat ruuvien kääntymiskulman epäsuunnolliset muutokset ovat korkeintaan asteen kertaluokkaa. Ruuvien tasaisesta kääntymisestä aiheutuva virhe kumoutuisi myös kiertonopeutta säädettäessä.

Sekanttiruuvikoneiston systemaattinen virhe on niin pieni (kuva 8), että se käytännössä tulee hukkumaan mekaanisista epätarkkuuksista aiheutuviin kiertonopeuden muutoksiin. Erittäin pitkien käyntiaikojen yhteydessä syntyvät virheet voidaan kompensoida, jos synkronimoottoria pyörittävä vaihtojännite otetaan säädettävästä taajuusgeneraattorista. Tällöin myös varren pituuden säätökoneisto on tarpeeton ja käyntilaitte yksinkertaistuu.

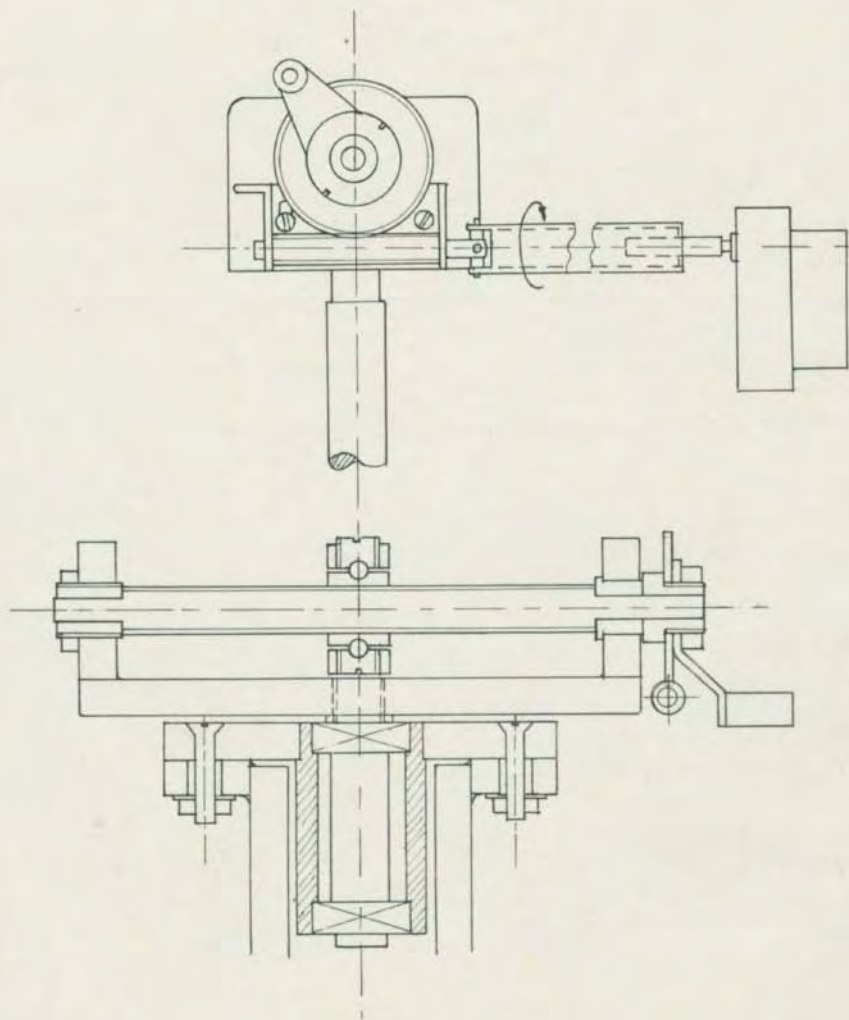
Synkronimoottori voidaan kiinnittää joko samaan alustaan ruuvien kanssa, jolloin värinän eliminointiin on kiinnitettävä erityistä huomiota, tai sitten kokonaan eri alustaan, missä tapauksessa voimansiirron on joustettava. Tällöin kannattaa välittömästi ennen ruuvia sijoittaa hammaspyöräpari, jolla joustavan osan pyörimisnopeus nostetaan niin suureksi, ettei tässä pääse syntymään sanottavaa virhettä kuormituksen muuttuessa.

Välitykseen voidaan käyttää myös alkeellista hammaspyörää ja tangenttiruuvia kuten kuvissa 5b, 9 ja 10. Esim. vanhasta herätyskellostä saatu tukevahko hammaspyörä, johon kokeilemalla valitaan tai sorvataan sopiva ruuvi, kelpaa hyvin, koska tarkkuusvaatimukset ruuvien nopean pyörimisen ansiosta ovat melko vähäiset. Jos pyörä on esim. 60-hampainen ja käyntiruuvien tulee pyörähtää kerran minuutissa, saadaan välitysruuvien pyörimisnopeudeksi 1 r/s. Ruuvien kiinnitys on tehtävä siten, että ruuvi voidaan kääntää pois hammaspyörältä takaisinkelauksen ajaksi (kuva 9).

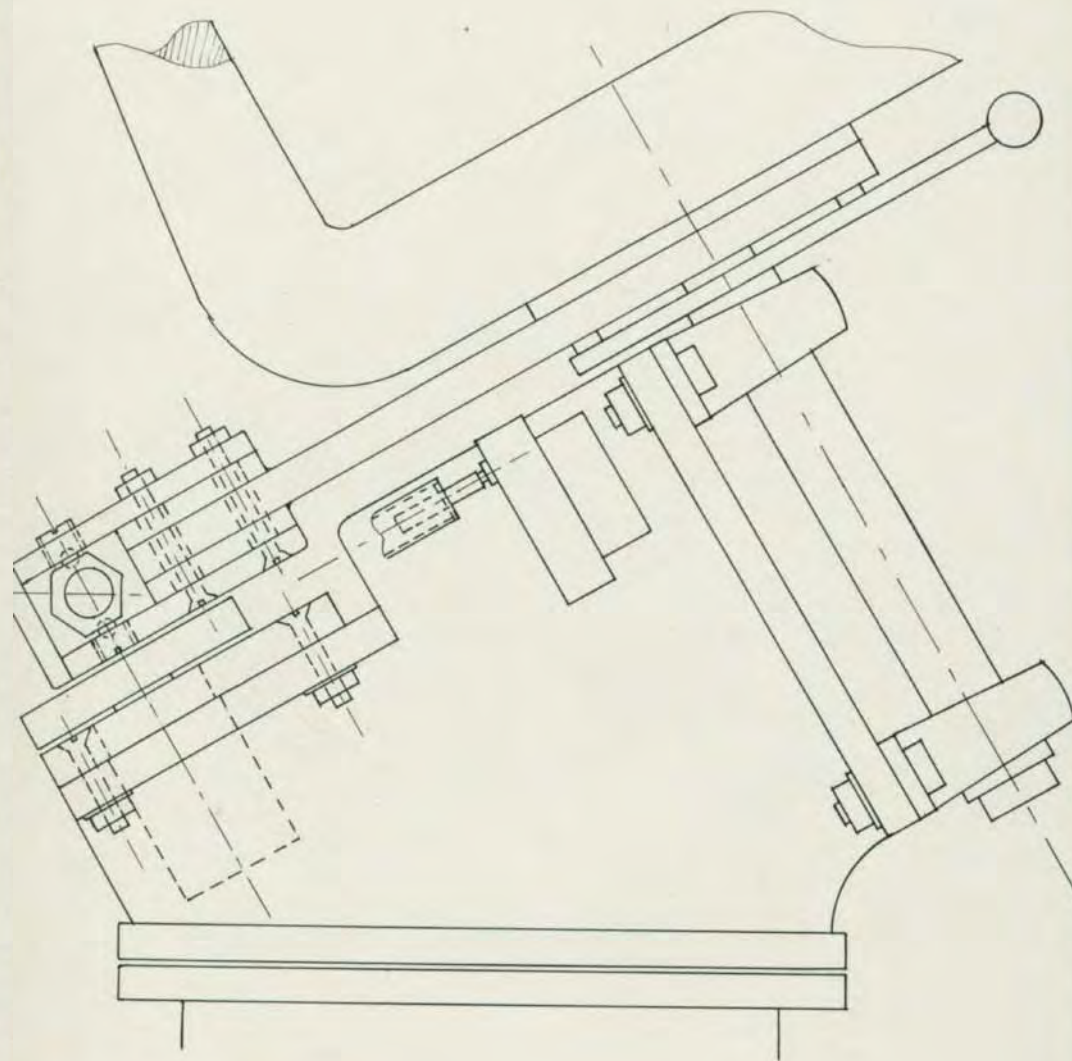
3. Loppupäätelmiä

Molemmille kiertokoneistoratkaisuille yhteisiä etuja ovat yksinkertainen rakenne, pitkän kääntösäteen avulla saavutettava hyvä tarkkuus ja oikean kiertonopeuden helppo säätö varren pituutta muuttamalla. Kierukkahammaspyörän yhteydessä säätö vaatii mutkikkaan välitysruuvien, jos käytetään verkkotaajuuteen ja siten keskiaurinkoaikaan sidottua synkronimoottoria.

Kun vertaamme käyntilaitteita keskenään, vie tangenttiruuvien yksinkertaisuuden ja kustannusten puolesta voiton. Se on parempi ratkaisu, jos



KUVA 9. Sekanttiruuvikoneiston rakenneperiaate





KUVA 10. Esimerkki sekanttiruuvikoneiston rakenteesta

rakentajalla ei itsellään ole mahdollisuutta käyttää sorvia ja muita tehokkaita työkaluja.

Sekanttiruuvikoneisto on jonkin verran suuritöisempi rakentaa, mutta sitä käytettäessä saavutetaan joitakin etuja. Koska sekanttiruuvi on laakeroitu molemmista päistään, se voi olla huomattavan pitkä. Ongelmia ruuvin pitämiseksi samansuuntaisena ei ole. Pitkästä ruuvista huolimatta koneisto saadaan pieneen tilaan, koska ruuvi ei liiku akselinsa suuntaisesti. Myös takaisinkelausta nopeuttava kampi on helppo kiinnittää suoraan ruuvin toiseen päähän.

Sekanttiruuvikoneiston varjopuolia ovat hiukan monimutkaisempi rakenne ja tästä aiheutuvat tarkkuusvaatimukset ylimääräisten virhelähteiden välttämiseksi. Parhaiten menetelmä sopii käytettäväksi säädettävän taajuusgeneraattorin yhteydessä. Tällainen generaattori on hyvin käyttökelpoinen senkin takia, että sillä saadaan helposti aikaan kaukoputken ohjaukseen rektaskensuunnassa tarvittavat kiertonopeuden muutokset. Harrastajakäyttöön sopiva generaattori ei ole myöskään kovin monimutkainen laite. (Kts. Tähtiaika 1972 s. 124, 1973 s. 9, 1974 s. 64).

Hyvin tuloksiin pääsemiseksi on muistettava, että kaukoputken jalustan tulee olla tukeva ja, jos mahdollista, kiinteästi asennettu, koska tuntiakselin suuntaaminen tarkasti kohti taivaannapaa on melko työläs tehtävä.

Kiertokoneiston sovellutuksesta ja jalustaratkaisusta on tietoja myös ns. standardijalustaa käsittelevissä Tähtiajan numeroissa (1973 s. 55 ja 1974 s. 20).

1. Tarkoitus Ursan tarkoituksena on toimia tähtitieteen harrastajien yhdyssiteenä ja edistää tähtitieteen tuntemusta ja harrastusta maassamme. Yhdistys toimii pääasiassa järjestämällä tähtinäytäntöjä, esitelmätilaisuuksia ja harrastajien yhteistoimintaa, pitämällä yllä kirjastoa sekä harjoittamalla tähtitiedettä käsittelevää julkaisutoimintaa.

2. Jäsenkunta Ursan jäsenmäärä oli vuoden 1975 lopussa 1274, josta 743 Uudeltamaalta ja Helsingistä ja loput muualta Suomesta. Jäsenistö koostuu melko tasaisesti eri yhteiskunta- ja ammattiryhmien edustajista, joskin siihen kuuluu erityisen runsaasti nuorisoa. Myös suomalaiset ammattitähdisteilijät ovat lähes poikkeuksetta Ursan jäseniä.

3. Tähtinäytännöt Ursan tähtitorni sijaitsee Kaivopuistossa Ullanlinnanmäellä noin 200 metriä ravintola Kaivuhuoneen eteläpuolella. Tähtitornin kaksi kaukoputkea on tarkoitettu sekä yhdistyksen jäsenten että yleisön käyttöön. Tähtitorni on avoinna yleisölle jokaisena pilvettömänä iltana kaikkina viikonpäivinä yleensä seuraavasti:

15. 2.–15. 3. avataan tunti auringonlaskun jälkeen ja suljetaan klo 21

16. 3.–30. 4. avataan tunti auringonlaskun jälkeen ja suljetaan klo 22

15. 8.–15.10. avataan tunti auringonlaskun jälkeen ja suljetaan klo 22

16.10.–30.11. avoinna klo 18–21

Näytännöissä katsellaan kaukoputkilla Kuuta ja näkyvissä olevia planeettoja sekä kaukaisempia taivaankappaleita kuten tähtijoukkoja ja sumuja tornia hoitavan oppaan johdolla. Pääsymaksu on aikuisilta 2 mk ja lapsilta 1 mk, Ursan jäsenet pääsevät näytäntöihin ilmaiseksi. Jäsenet voivat myös käyttää tornia ja sen laitteita tähtivalokuvaukseen ja muuhun havainnointiin tähtinäytäntöjen ulkopuolella. Koululais- ja muut ryhmät voivat sopia käynnistä erikseen. **Huom.** Jos avaamisaikaan on pilvistä, tornia ei avata sinä iltana.

4. Tähdet ja Avaruus-lehti kuusi kertaa vuodessa ilmestyvä tähtitieteen harrastajien lehti kertoo ajankohtaisista havaintokohteista, käsittelee harrastajan havaintoja, välineitä ja tekniikkaa sekä välittää perustietoa tähtitaivaan ilmiöistä ja niiden tutkimuksesta. ”Tähdet ja Avaruus” lähetetään ursalaisille jäsenetuna. Lehteä voi ostaa ja tilata Ursan kirjastosta ja tähtitornista. Ursan jäsenet saavat lisäksi jäsenetuna Turun Ursan vuosittain julkaiseman Tähtitaivas-lehden sekä Valtiokalenterin kalendaarion eripainoksen, joka sisältää tietoja taivaankappaleiden näkymisestä. Tähdet ja Avaruus-lehti ilmestyi vuosina 1971–76 Tähti-aika-nimisenä.

5. Ursan julkaisut Urssa on julkaissut tähän mennessä seuraavat teokset:

Ursan julkaisu I Tähtitiedettä harrastajille 88 s. 1926

Ursan julkaisu II Tähtitiedettä harrastajille II 123 s. 1938

Ursan julkaisu III Tähtitieteen harrastajan kirja 208 s. 1947

Ursan julkaisu IV Tähtitiedettä harrastajille III 132 s. 1954

Ursan julkaisu V Tähtitiedettä harrastajille IV 140 s. 1965

Ursan julkaisu VI Heikinheimo: Teemme peilikaukoputken 115 s. 1966

Ursan julkaisu VII Tähtien ja galaksien maailma 252 s. 1975

Useimmat julkaisut on loppuunmyyty, tämän kirjan lisäksi ainoastaan julkaisua V lienee saatavissa. Julkaisut I–V on kustantanut WSOY; kaksi viimeistä on Urssa itse kustantanut. Lähiajan suunnitelmissa on useiden uusien kirjojen julkaiseminen, kuten kokonaan uusittu Tähtitieteen harrastajan kirja ja kaukoputken tekoa käsittelevä kirja.

6. Esitelmätilaisuudet Urssa järjestää kerran kuussa esitelmätilaisuuksia joissa tähtitieteen tutkijat ja harrastajat kertovat mahdollisimman yleisesti mielenkiintoisista ja ajankohtaisista tähtitieteeseen liittyvistä aiheista. Nämä tilaisuudet onkin tarkoitettu ursalaisten lisäksi luonnontieteistä yleensä kiinnostuneille kuulijoille, ja ne ovat maksuttomia. Ilmoitukset esitelmistä julkaistaan ”Tähdet ja Avaruus”-lehdessä.

7. Lainakirjasto Ursan jäsenten käytettävissä on melko laaja ja monipuolinen tähtitieteellinen kirjasto. Alan yleistösten lisäksi se sisältää kirjallisuutta myös useilta erikoisalueilta kuten planeetoista, tähtijärjestelmistä ja maailmankaikkeuden rakenteesta. Harrastajien tarvitsemia havainto-oppaita, tähtikarttoja ja havaintovälineitä käsittelevää kirjallisuutta on runsaasti, joskin suurimmaksi osaksi vieraskielisenä, pääasiassa englanniksi ja saksaksi sekä jonkin verran ruotsiksi. Kirjastoon tulee myös useita ulkomaisia alan aikakauslehtiä, joita ursalaiset voivat lainata tai lukea kirjastossa. Ursan kirjasto on avoinna maanantaisin ja torstaisin klo 18–20 (tai klo 21:een). Kirjoja ja aikakauslehtiä voi lainata myös postitse tilaamalla puhelimitse tai kirjeitse. Lainausajat ovat kirjoille 2 kk, lehdille 1 kk, postitse lainattaessa sekä kirjoille että lehdille 2 kk. Täydellisen kirjastoluettelon saa maksutta kirjastosta tai postitse. Katso kohtaa ”Osoitteet”.

8. Työpaja Ursalla on työhuone niitä harrastajia varten, jotka valmistavat itse havaintovälineitään. Sen kalustoon kuuluvat peilien hionnassa tarvittavat välineet sekä sorvi ja porakone. Työpajan käytöstä voi sopia käymällä toimistossa (ks. ”Osoitteet”) tai puhelimitse.

9. Harrastusryhmät Ursan vireimmin toimiva ryhmä on muuttuvien tähtien havaitsijat, joka julkaisee omaa monistettua lehteään ”Miraa”. Urssa järjestää opintokerhoja ja -kursseja lähinnä vasta-alkajille. Yhdistys antaa ohjausta Tähdet ja Avaruus-lehden palstoilla sekä yksityisesti mm. tähdenlentojen, auringonpilkkujen, planeettojen ja revontulien havaitsemisessa sekä kaukoputken peilin ja jalustan tekemisessä sekä tähtivalokuvauksessa.

10. Tähtiharrastuspäivät Tähtiharrastuspäivät on tähän mennessä järjestetty Turussa 1971, Helsingissä 1972, Tampereella 1974, Oulussa 1975 ja Lahdessa 1976. Tampereen päivät olivat samalla pohjoismaiset. Vuosittain pyritään järjestämään viikonlopun kestävät päivät, joiden ohjelma muodostuu esitelmistä, työryhmien työskentelystä, yhteistoimintaneuvotteluista, harrastajanäyttelyistä, tutustumiskäynneistä alan laitoksiin ja ennenkaikkea kokemusten vaihdosta.

11. Ursa vastaa tiedusteluihin Ursa pyrkii tiedottamaan toiminta-alansa asioista ja ajankohtaisista tapahtumista julkisen sanan välityksellä. Lisäksi vastataan mahdollisuuksien mukaan yksityisten henkilöiden esittämiin tähtitiedettä ja taivaan ilmiöitä sekä Seuraa itseään koskeviin kysymyksiin. Tiedustelut voi tehdä puhelimitse tai kirjeitse Ursan toimistoon (ks. "Osoitteet").

12. Jäseneksi liittyminen Ursan jäseneksi voi liittyä jokainen tähtitieteestä ja tähtiharrastuksesta kiinnostunut, ikärajaa ei ole. Jäsenmaksu on 1976 20-vuotiailta ja vanhemmilta 20 mk ja nuoremmilta 12 mk. Jäseneksi ilmoittautuminen käy kirjeitse tai puhelimitse Ursan toimistoon tai henkilökohtaisesti toimistossa, tähtitornissa tai kokouksessa. Myös yhteisöt kuten koulut ja kirjastot voivat olla Ursan jäseniä.

13. Osoitteet ja aukioloajat

Ursan toimisto, kirjasto ja työpaja sekä Tähdet ja Avaruus-lehti.

Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry.

Pihlajatie 32 A 4

00270 Helsinki 27

Puhelin: (90) 485 621. Puhelimeen vastataan vain kirjaston ja toimiston aukioloaikoina: maanantaina ja torstaina klo 18–20.

Yhdistyksen postisiirtotilin numero on 7321–5.

14. Tähtiharrastusseurat eri paikkakunnilla Ursan lisäksi monilla maamme paikkakunnilla toimii itsenäisiä yhdistyksiä tai kerhoja. Seuraavassa luetellaan tiedossa olevat seurat sekä kuinka niihin saa yhteyden (tiedot helmikuulta 1974):

Etelä-Karjala: Etelä-Karjalan tähtitieteen harrastajain yhdistys Nova. Yhteyshenkilö Pasi Laitinen, Sorvaajankatu 18, 55800 Imatra 80.

Hyvinkää: Polaris ry. 20 jäsentä. Yhteyshenkilö Jukka Hongisto, Munckinkatu 4, 05820 Hyvinkää 2, puh. 914–15274.

Joensuu: Tähtitieteen harrastajain yhdistys Seulaset ry. Noin 50 jäsentä. Yhteyshenkilö rehtori Aulis Koivusalo, Salminkatu 15, 80200 Joensuu 20, puh. Joensuu 31228.

Jyväskylä: Jyväskylän tähtitieteellinen yhdistys Sirius ry. 45 jäsentä.

Tähtitorni on Rihlaperässä, avoinna tiistaisin ja perjantaisin klo 19–21 1.9.–30.11. ja 1.2.–30.4. Yhteyshenkilö DI Juhani J. Korhonen, Viitaniemenkatu 7 E, 40720 Jyväskylä 72, puh. 941–211310.

Karjaa: Sällskapet Natura. Tähtitorni vesitornilla. Yhteyshenkilö Thor Portin, Edegatan 2, 10300 Karis, puh. 912–30549.

Kuopio: Kuopion tähtitieteellinen kerho Saturnus. 53 jäsentä. Tähtitorni Huuhanmäellä. Avoinna keskiviikkoisin ja sunnuntaisin klo 19–21 (tai 20–22). Yhteyshenkilö Juhani Sarkava, Suunnistajantie 7 A 3, 70200 Kuopio 20, puh. 971–83511/201 (kotiin 971–22887).

Lahti: Lahden Ursa ry. Noin 90 jäsentä. Tähtitorni Pirttiharjun vesitornilla. Avoinna syyskuusta toukokuuhun sunnuntaisin ja tiistaisin klo 19–21 tai pimeään tultua. Yhteyshenkilö Juhani Salmi, Vesijärvenkatu 36 C 34, 15110 Lahti 11, puh. 918–28064 koti, 43811 työ.

Lohja: Lohjan Ursa. Noin 20 jäsentä. Tähtitorni Lohjanharjulla, uimahallin vieressä. Yhteyshenkilö Arvo Tolonen, Kirkniemenkatu 3, 08100 Lohja 10, puh. 912–81204.

Mikkeli: Mikkelin Ursa ry. Noin 50 jäsentä. Tähtitorni Uudella vesitornilla. Yhteyshenkilö lehtori Urpo Kokki, Otavankatu 10 A, 50100 Mikkeli 10, puh. 955–10974.

Oulu: Tähtitieteellinen yhdistys Arktos ry. 75 jäsentä. Tähtitorni Puolivälinkankaan vesitornilla. Avoinna sunnuntaisin klo 19–21.30. Yhteyshenkilö Juha Tervaskanto, Ratakatu 14 C 4, 90140 Oulu 14, puh. 981–31898.

Pori: Porin Karhunvartijat ry. 70 jäsentä. Yhteyshenkilö Jarl Lund, Valtakatu 5 D 51, 28100 Pori, puh. 939–15908.

Tampere: Tampereen Ursa ry. 114 jäsentä. Tähtitorni Kaupin vesitornilla. Avoinna keväällä ja syksyllä tiistaisin ja perjantaisin klo 19.30–21.30. Yhteyshenkilö Simo Valoma, Näsikartano A 1, 33230 Tampere 23, puh. 931–27224.

Turku: Turun Ursa ry. 192 jäsentä. Tähtitorni Iso-Heikkilässä. Avoinna sunnuntai-iltaisina maaliskuuhun. Turun Ursa julkaisee vuosittain numeron Tähtitaivas-lehteä. Yhteyshenkilö Pekka Parviainen, Taskulantie 2 E 78, 20300 Turku 30, puh. 921–385051.

Huom! Yhdistysten tähtitornit ovat avoinna vain pilvettöminä iltoina.

Edellämäinittujen tähtiharrastusseurojen lisäksi maassamme toimii valtakunnallinen avaruustutkimusta harrastava seura,

Suomen Avaruustutkimusseura ry.

Sen piirissä mm. julkaistaan kuudesti vuodessa ilmestyvää **Avaruushuotain-lehteä**, lennätellään pienoisoraketteja ja suoritetaan satelliittien radioseurantaa. Avaruustutkimusseuran osoite on PL 507, 00101 Helsinki 10, ja yhteyttä voi puhelimella ottaa esim. Heikki Ojaan, 90-719 977.

KIRJALLISUUTTA:

Tähtikartta:

Kalaja: Tähtitaivaan kartasto (1964)

Helppotajuisia ja nuorille sopivia kirjoja:

Ronan: Maapallolta avaruuteen (1965)

Wyler, Ames: Avaruuden kultainen kirja (1959)

Appelqvist, Jännes, Nelimarkka: Avaruus (1971)

Schmitz: Tähtitiede (1973)

Kirjoja varttuneemmille:

Moore: Tähtitaivas (1964)

Moore: Avaruusatlas (1969)

Seljo: Tähtiharrastuskirja (1969)

Nuorten Tieto 1-6: useita erillisiä kirjoituksia

Wallenqvist: Planeettoja, tähtiä ja kvasaareja (1969)

Perusteellisempia tähtitieteen kirjoja:

Lehti: Tähtitiede (Tiedon Portaat 7) (1969)

Larsson-Leander: Johdatus tähtitieteeseen (1974)



Ursan tähtitorni Kaivopuistossa Helsingissä kunnostettuna elokuussa 1974.

Räjähtävät linnunradat, arvoitukselliset kvasarit, neutronitähdet ja tähtien välisen aineen orgaaniset yhdisteet ovat eräitä niistä tähtitieteen viimeaikaisista löydöistä, joita uusin havaintotekniikka tuottaa nopeassa tahdissa. Tähtitieteilijöiden kaukoputket näkevät tänään valonsäteilyn lisäksi radio- ja infrapuna-aaltoja sekä lyhytaaltoista gamma- ja röntgensäteilyä, vieläpä hiukkassäteilyäkin.

Kaikilla mahdollisilla kanavilla havaitaan avaruuden säteilyn tulvivan tietoa. Se kertoo sekä oman Linnunratamme tähtimaailman tapahtumista että galaksiavaruuden kaukaisista syvyyksistä. Ehkä hämmästyttävintä on kuitenkin, että säteily sisältää viestejä myös maailman kehityksen varhaisilta aikakausilta, miljardien vuosien takaa.

Tähtitieteen näkökulma luontoon on poikkeuksellisen laajaulotteinen. Se liittää atomin pienoismaailman ja kosmoksen suurimittaiset ilmiöt yleiskuvaksi materian esiintymismuodoista, käyttäytymisestä ja kehityshistoriasta. Tähän kuvaan liittyvät viimekädessä myös käsityksemme elämän ilmiöiden yleisimmistä perusteista ja ihmisen asemasta luonnossa.

TÄHTIEN JA GALAKSIEN MAAILMA kertoo uuden tähtitieteen löydöistä. Mutta ennen kaikkea se selvittää uusien saavutuksien perusteita: miten avaruuden viestejä tulkitaan, mitä ne merkitsevät ja miten ne liittyvät muuhun tietämykseemme luonnosta.