KOMEETAT

KARI KAILA HEIKKI OJA MAURI VALTONEN
TAPIO KORHONEN

TÄHTTITETEELLINEN YHDISTYS URSA

KOMEETAT

KARI KALLA HEIKKI OJA MAURI VALTONEN
TAPIO KORHONEN

URSAN JULKAISUJA 22

Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry Helsinki 1983

KOMEETAT

KARI KAILA HEIKKI OJA MAURI VALTONEN
TAPIO KORHONEN

URSAN JULKAISUJA 22

Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry Helsinki 1983

Sisällysluettelo

Lukijalle	9
Osa I: Komeetat kautta aikojen	13
1. Aurinkokuntamme	
Planeetat 13, Tietolaatikko: Etäisyydet aurinkokunnassa 14, Pik- kuplaneetat 15, Kuut 17, Meteoroidit 18	21
2. Vanhoja ajatuksia komeetoista	
Pythagoras: planeettoja 21, Aristoteles: sääilmioita 22, Komeetta- tutkimus keskiajalla 24, Maailmankuva muuttuu 25, Komeetatkin kaukaisia 27, Planeettojen ja komeettojen radat 27, Newton ratkai- see ongelman 28, Tietolaatikko: Komeetan rata 30, Halley laskee ratoja 31	35
3. Halley ja hänen komeettansa	
Taivaankappalten liike 35, Tähtitaivas ja magnetismi 35, Kunin- kaallinen tähtitieteilijä 37, Halley'n komeetta 39, Vuoden 1835 vie- railu 39, Vanhoja havaintoja 41, Vuoden 1910 vierailu 42, Komee- tan pyrstön läpi 44, Tammikuun 1910 komeetta 45, Tietolaatikko: Suuruusluokka eli magnitudi 46, Aktiivinen ydin 46, Tutkimukset jatkuvat 49, Taulukko: Halley'n periheliohitukset 51	55
4. Encken komeetta	
Neljä pyrstötähteä 55, Encken ratalaskut 56, Komeetan himme- neminen 56, Kiertoajan lyheneminen 57, Pyörivä lumipallo 58, Tietolaatikko: Komeettojen nimeäminen 58, Encken pyörähdys- akselin suunta 61, Epäsymmetrinen ydin 61, Encken ytimen koko 62	65
5. Kreutzin ryhmä	
Puolen taivaan mittainen pyrstö 65, Kolme komeettaa 1880-luvul- la 67, Viisi komeettaa 1900-luvulla 68, Tekokuu löytää komeettoja 70, Kaksi uutta törmääjää 70, Useita komeettoja jäänyt näkemättä 72, Mistä Kreutzin komeetat ovat peräisin 73	75
6. Biela ja Kohoutek	
Upseerin havainto 75, Komeetta hajoaa 76, Viimeinen ilmesty- minen 77, Bielan jäänteitä tähdenlentoina 78, Biela etsimässä 78, Kohukomeetta 79, Kirkkausarvioita muutetaan 82, Nopea him- meneminen 83, Tutkimuksia maasta ja avaruudesta 84, Taulukko: Hienoimpia komeettoja 85	91
7. Suomalaisia komeettoja	
Pikkuplaneetat ja Pluto 91, Väisälän komeetta 92, Väisälä 1:n myöhemmät vierailut 92, Oterma ja Väisälä 2 93, Stephan-Oterma 94, Oterman outo rata 95, Väisälän kolmas 96, Lexellin komeetta 97

Teoksen tekstit ja tekijöiden tekemät viivapiirrokset on lisensoitu avoimella CC BY 4.0 -lisenssillä. Muiden piirrosten ja valokuvien lähteet on ilmoitettu kuvateksteissä, ja niitä koskevat normaalit tekijänoikeussäännökset. Tämän teoksen on julkaissut Helsingin yliopiston kirjasto Tähtitieteellisen yhdistyksen Ursan luvalla.

DOI: 10.31885/9789515149954
ISBN: 978-951-51-4995-4 (pdf, 2020)

Kannessa kuva Mrkosin pyrstötähddestä 22. 8. 1957.
Kuva on otettu Palomar-observatorion
1.2 m Schmidt-teleskoopilla.

Nimilehden piirros George Morrow englantilaisesta
Punch-lehdestä vuodelta 1906.

Kirjan muut kuvat ja piirrokset
© Ursan kuva-arkisto, Laivanvarustajank. 3,
00140 Helsinki 14, puh. 90-174 048

ISSN 0357-7937

Painettu Länsi-Savon kirjapainossa
Mikkelissä 1983

Osa II: Mitä komeetoista tiedetään

8. Komeettojen radat	103
Komeettaluettelo 103, Tietolaatikko: Rataelementit 104, Ellipsi, paraabeli ja hyperbeli 105, Miten rata määrätään 106, Jaksolliset komeetat 107, Pitkäjaksoiset komeetat 108, Oortin pilvi 110, Pilven ulkoraja 111, "Alkuperäiset" ja "tulevat" radat 113, Jupiterin vaikutus 114, Reaktiovoimat 115	
9. Komeettojen rakenne	117
Kolmentyyppisiä pyrstöjä 117, Miten pyrstö syntyy 118, Aurinkotuuli ajaa kaasua 120, Pölypyrstö ja vastapyrstö 121, Pyrstö ja magneettikenttä 123, Komeetan ydin 124, Komeetan kemia 125, Suuri vetykehä 127, 1970-luvun tuloksia 128, Kaavakuva komeetasta 129, Ytimen hajoamiset ja purkaukset 130, Vuorovesivoimat halkaisevat ytimiä 131, Sisäinen paine syypää 131, Westin hajoaminen 132, Hartleyn komeetat 133	
10. Komeettojen kirkkaudet	135
Komeetan suuruusluokka 135, Poikkeavaa käyttäytymistä 136, Katoavia komeettoja 138, Schwassmann-Wachmannin purkaukset 139, Tuttle-Giacobini-Kresakin purkaukset 140, Komeettojen himmeneminen 141	
11. Komeettojen syntyteoriat	145
Tähtienväliset syntyteoriat 146, Kerääntymisteoria 146, Purkaus-teoria 148, Komeettapilviteoria 149, Lyhytjaksoisten komeettojen synty 151	
12. Komeetat ja maapallo	153
Komeettamyrskyt 153, Sieppaus ja seuralainen 154, Komeettojen törmäykset 154, Komeetat ja evoluutio 155, Komeetat, elämä ja flunssa 157	
Osa III: Halley 1986	
13. Miten Halley näkyi	161
Tarkat ratalaskut 161, Löydettiin syksyllä 1982 162, Harrastajien ulottuville syksyllä 1985 162, Epäedullinen vierailu 164, Suomessa parhaimmillaan tammikuussa 166, Periheli Auringon takana 167, Kevästä syksyyn 168, Miten Halley löytyi 169, Halley 2061 170	
14. Kansainvälinen Halley-tutkimus	173
Kahdeksan havaintoverkkoa 174, Komeetan paikanmääräys 174, Pöly ja jää 175, Valokuvia komeetasta 176, Ytimen tutkiminen 177, Kirkkaudenmittaus 178, Radiotutkimukset 178, Spektritutkimukset 178, Harrastajaverkko 179, Suomalaisia havaintoja 180, Tutkimuksia kiertoradalta 181	
15. Halley-luotaimet	183
Kohtaus maaliskuun alussa 183, Suuri nopeus 183, Neljä alusta 185, Japanin Planeetta-A 186, Euroopan Giotto 187, Neuvostoliiton Venerat 189, Yhdysvaltain varaslähtö 191, Komeettatutkimuksen tulevaisuus 193	

Liite: Jaksollisten komeettojen radat ja perihelikäynnit

1983 – 1999	194
Kirjallisuutta	197
Hakemisto	199
Kirjoittajat	203
Tähtitieteellinen yhdistys Ursa	204

Lukijalle

”Suomeksi ei ole ollut saatavissa nykyhetken saavutusten mukaista yleistajuista esitystä niistä oudoista avaruuden harhailijoista, jotka tunnetaan pyrstötähtien nimellä. Tänä vuonna, jolloin ihmiskunnan historiassa kautta vuosituhansien tarkattu pitkämatkainen kiertolainen, Halley'n pyrstötähti, jälleen saapuu näköpiiriimme, ja muitakin samanlaisia ilmiöitä on esillä, tuntuu tällaisen pikku oppaan julkaiseminen erityisesti tarpeen vaatimalta. Sillä vähäisessäpää määrässä tulee suuri yleisö siellä täällä esiintyvistä hajallisista tiedoista saaneeksi käsitystä noiden ilmiöiden luonteesta ja historiasta.”

Lainaus on vuonna 1910 ilmestyneestä kirjasta *Pyrstötähdet* (Kustannus-O.Y. Kansa). Sanat sopivat yhtä hyvin tähän päivään, sillä nyt, runsaat 70 vuotta myöhemmin, Halley'n pyrstötähti on jälleen lähestymässä Aurinkoa.

Tietomme komeetoista ovat seitsemänä viime vuosikymmenenä huomattavasti lisääntyneet. Kun 1900-luvun alussa kuvailtiin lähinnä komeettojen ratoja ja ulkonäköä, voidaan tällä hetkellä jo pohtia niiden ytimen rakennetta ja koostumusta, laskea tietokoneiden avulla niiden ratoja pitkiä aikoja eteen- ja taaksepäin ja tehdä tehokkailla kaukoputkilla havaintoja ennennäkemättömän heikoista pyrstötähdistä. Tekokuut kuvaavat komeettoja Maan kiertoradalta, ja maapallolla rakennetaan ensimmäisiä luotaimia lentämään komeetan pään ohi.

Pyrstötähdet eivät ole kuitenkaan vielä luovuttaneet kaikkia salaisuuksiaan. Niissä tapahtuu yhä selittämättömiä ilmiöitä, ja varsinkin käsitykset komeettojen alkuperästä menevät edelleen pahasti ristiin.

Tässä kirjassa kuvailemme ensin komeettatutkimuksen historiaa ja kuuluisimpia pyrstötähtiä. Kirjan toisessa osassa esitämme nykyiset käsitykset niin komeettojen radoista, rakenteesta kuin alkuperästä ja pohdimme muutamia viime vuosina esilletulleita jännittäviä ajatuksia komeettojen vaikutuksesta maapalloon.

Kirjan kolmas osa käsittelee Halley'n komeetan tämänkertaista vierailua ja sen varalle tehtyjä suunnitelmia. Meidän on jo tässä valittavasti sanottava, että Suomesta katsottuna Halley'n komeetta näkyy hyvin vaatimattomasti, paljain silmin tuskin lainkaan. Mutta sitä enemmän mielenkiintoa on seurata esimerkiksi Halley-luotainten lentoa, jotka yrittävät ottaa lähikuvia pyrstötähtien ytimestä.

Kari Kaila on kirjoittanut pääosat luvuista 1–6, 9–10 ja 13, Heikki Oja ”tietolaatikot” ja pääosan luvuista 8, 11 ja 14–15, Mauri Valtonen osia luvusta 11 ja pääosan luvusta 12 ja Tapio Korhonen pääosan luvusta 7. Kirjoittajat ovat käyneet myös toistensa osuudet läpi ja muokanneet ja täydentäneet niitä.

Kirjan kuvituksessa ovat auttaneet kuvateksteissä mainittujen lisäksi Irmeli Ilmanen, Tapio Markkanen, Veikko Sinkkonen ja Mirva Vuori ja käytännön toimitustyössä Arja Kyröläinen, joka myös taittoi kirjan. Kari Lumme luki kirjan käsikirjoituksen. Heille kaikille lausumme parhaat kiitokset.

Heinäkuussa 1983

Kirjoittajat

Osa I: Komeetat kautta aikojen

1. Aurinkokuntamme

Kun syksyisenä, pimeänä ja selkeänä yönä menee ulos katselemaan tähtiä, ne näyttävät kirkkailta sädehtiviltä pisteiltä sametinmustaa yötaivasta vasten. Taivas ei näytä kuitenkaan kaikkialta yhtä mustalta. Perseuksen, Kassiopejan ja varsinkin Joutsenen ja Kotkan vaiheilta on näkyvissä selvä vaalea vyö yli koko taivaankannen. Se on Linnunrata, oma galaksimme, jota me tarkastelemme sisältäpäin. Vaikka Linnunrata näyttääkin maitomaisen usvaiselta, se koostuu tuhansista ja taas tuhansista tähdistä. Niitä ei voi erottaa enää erillisiksi tähdiksi ja siksi ne muodostavat valoisan pinnan.

Ulkopuolelta tarkasteltuna Linnanrata on suuri spiraaligalaksi, linssimäinen muodoltaan. Sen paksuus keskeltä on 10 000 valovuotta ja halkaisija 100 000 valovuotta ja siinä on peräti 200 000 000 000 tähteä. Oma Aurinkomme on yksi niistä. Kaikki muut tähdet ovat Aurinkomme kaltaisia, itseloistavia suunnattomia hehkuvia kaasupalloja. Useimmat tähdistä ovat pienempiä kuin Aurinko, osa taas suurempia.

Planeetat

Aurinko ja sen lähiympäristö planeettoineen muodostavat aurinkokunnan. Aurinko syntyi kiertolaisineen viitisen miljardia vuotta sitten. Tuolloin suunnaton pyörivä kaas- ja pölypilvi litistyi levyksi. Pilvi kutistui ja sen keskelle muodostui Aurinko. Siitä lähtien Aurinko on paistanut enemmän tai vähemmän tasaisesti ja luonut olosuhteet elämän syntymiseen ja säilymiseen Maassa. Aurinko tulee nykyisen käsityksen mukaan loistamaan varsin tasaisesti vielä toiset viisi miljardia vuotta, ennen kuin siinä itsessään tapahtuu suurempia muutoksia.

Auringon ympärille jäi useita Aurinkoa kiertäviä pyöriä pilviä, jotka aikanaan kutistuivat planeetoiksi. Suuria planeettoja syntyi yhdeksän. Nämä ovat Auringosta lukien Merkurius, Venus, Maa, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus ja Pluto. Tutkiessaan planeettojen etäisyyksiä Auringosta havaitsivat saksalaiset matemaatikko

Linnunrata on suuri kiertegalaksi. Ulkoapäin nähtynä se olisi samanlainen kuin tämä eteläisellä tähtitaivaalla oleva NGC 6744. Aurinko sijaitsee kaukana järjestelmän keskustasta, suunnilleen vastaavalla paikalla kuin oheiseen kuvaan merkitty tähti. (Kuva Anglo-Australian Observatory)

Tietolaatikko: Etäisyydet aurinkokunnassa

Aurinkokunnassa käytetään etäisyyksinä usein *tähtitieteellistä yksikköä*, jonka lyhenne on *AU*. (Lyhenne tulee sanoista astronomical unit.) AU on Maan radan isonakselin puolikas eli suunnilleen maapallon keskietäisyys Auringosta. 1 AU = 149.6 miljoonaa kilometriä. Oheisiin piirroksiin on merkitty aurinkokunnan planeettojen keskimääräiset etäisyydet Auringosta tähtitieteellisinä yksikköinä.

Taulukko. Planeettojen etäisyydet Auringosta tähtitieteellisissä yksiköissä Titiuksen-Boden lain mukaan (a_{lask}) ja todellisuudessa (a_{tod}).

	n	a_{lask}	a_{tod}
Merkurius	$-\infty$	0.4	0.39
Venus	0	0.7	0.72
Maa	1	1.0	1.0
Mars	2	1.6	1.52
	3	2.8	—
Jupiter	4	5.2	5.20
Saturnus	5	10.0	9.54
Uranus	6	19.6	19.18
Neptunus	7	38.8	30.06
Pluto	8	77.2	39.7

J. K. Titius (1729 – 1796) sekä Berliinin tähtitornin johtaja J. E. Bode (1747 – 1826), että planeettojen etäisyys Auringosta voitiin esittää yksinkertaisella kaavalla

$$a = 0.4 + 0.3 \times 2^n$$

missä n saa arvoja $-\infty, 0, 1, 2, \dots$ jne. Tällöin planeetan etäisyys a saadaan tähtitieteellisissä yksiköissä (= Maan etäisyys Auringosta, 149 600 000 km). Kuten nähdään, saadaan Titiuksen ja Boden laista planeettojen etäisyydet Plutoa lukuunottamatta varsin hyvin laskeutuksi. Kuitenkin $n:n$ arvolla 3, Marsin ja Jupiterin välissä, on aukko.

Pikkuplaneetat

Vuonna 1801, tammikuun 1. päivänä löysi Piazzi ensimmäisen pikkuplaneetan, Cereksen. Sen keskimääräinen etäisyys Auringosta on 2.77 tähtitieteellistä yksikköä. Pian löydettiin uusia planeettoja Marsin ja Jupiterin radan välistä, ja näin saatiin Titiuksen-Boden lain arvo $n = 3$ sopimaan varsin hyvin pikkuplaneetoille. Ceres on suurin pikkuplaneetta (puhutaan myös planetoidista ja asteroidista) ja sen halkaisija on 1 000 km. Nykyään tunnetaan lähes kolmentuhannen pikkuplaneetan radat. On arveltu, että pikkuplaneettoja olisi 50 000 – 100 000 kappaletta. Useimmat pikkuplaneetat ovat hyvin pieniä, alle parin kilometrin luokkaa. Niiden yhteismassa on enintään 1/10 Maan massaa.

Useat pikkuplaneetat kiertävät Aurinkoa lähes ympyrä ratoja pitkin Marsin ja Jupiterin ratojen välissä. Myös muunlaisia ratoja on löydetty. Jotkin esim. kiertävät kokonaan Marsin radan sisällä (Ica-

Suurin osa pikkuplaneetoista liikkuu lähes ympyrämuotoisilla radoilla Marsin ja Jupiterin välisellä alueella. (Piirros mukailtu Mooren kirjasta Atlas of the Universe)

Meteoriittipommitus on voimakkaasti muokannut maankaltaisten planeettojen ja kuiden pintaa. Kuvassa Marsin (vasemmalla), Merkuriuksen (alla) ja Kuun kraattereita. (Kuvat Nasa ja Hale Observatories)

rus) ja vuonna 1978 löydettiin pikkuplaneetta Chiron, joka kiertää Saturnuksen radan ulkopuolella. Osalla on varsin soikea rata. Useimpien pikkuplaneettojen kiertoaika Auringon ympäri on 3 – 7 vuotta ja ne kiertävät lähes samassa tasossa kuin kaikki muutkin planeetat.

Mitä tapahtui Marsin ja Jupiterin välissä, kun Aurinko ja aurinkokunta syntyivät? Ehkä jokin syntymässä oleva planeetta syystä tai toisesta hajosi kappaleiksi muodostaen pikkuplaneetat, tai sitten planeettaa ei edes syntynyt.

Kuut

Useimmilla planeetoilla on yksi tai useampia kuita, jotka kiertävät planeettaa. Maalla on yksi kuu, Kuu. Saturnuksella niitä on nykyisten tietojen mukaan yli 20. Kuu puuttuu vain Merkuriukselta ja Venukselta. Pluton kuu löydettiin v. 1978. Onpa joillakin pikkuplaneetoilakin havaittu kuu. Näin on päätelty tähdenpeitoista saatujen epäsuorien havaintojen perusteella. Yhdenkään pikkuplaneetan kuuta ei ole suoraan nähty.

Kuiden, samoin kuin Merkuriuksen ja Marsin arpisista pinnoista voimme nähdä, että melko pian aurinkokunnan synnyn jälkeen suuret ja pienet ”pikkuplaneetat” pommittivat planeettoja saaden aikaan suunnattoman määrän erikokoisia kraattereita. Suurimmat pikku-

Avaruuden pienten pölyhiukkasten ja hiekanmurujen iskeytyminen ilmaan nähdään nopeasti vilahtavina tähdenlentoina eli meteoreina. Voimakkaimmat tähdenlennot loistavat planeettoja kirkkaampina, ja niitä sanotaan tulipalloiksi. (Kuva Pekka Parviainen)

planeetat ovat halkaisijaltaan satoja kilometrejä, pienimmät havaitut taas sadan, parinsadan metrin suuruisia. Mutta avaruudessa on varmasti vieläkin pienempiä kiviä, esim. kymmenmetrisiä, kymmensenttimetrisiä, millimetrisiä jne. Näitä kutsutaan meteoroidiksi, ja nekin kiertävät Aurinkoa kukin omilla radoillaan.

Meteoroidit

Tähtikirkkaalla taivaalla voi yhdessä yössä nähdä useitakin tähdenlentoja. Avaruudessa kulkevat pienet kivensirut tai pöly- ja jäätiviistymät, meteoroidit, törmäävät silloin tällöin Maahan ja palavat heh-

kuen ilmakehässä jättäen hetkeksi näkyviin tähdenlennon. Tähdenlento kestää yleensä alle sekunnin. Pohjantähden kirkkauden saavuttava tähdenlento on peräisin noin kymmenesosagramman kivensirusta. Herneenkokoinen kivi aiheuttaa jo hyvin kirkkaan (Venuksen luokkaa olevan) tähdenlennon, tulipallon, joka voi näkyä pari sekuntia ja jättää jälkeensä kymmeniä sekunteja näkyvän hehkuvan vanan. Joskus kunnan kivenmurikkakin syöksyy ilmakehään. Silloin lähes täysikuun kirkkaudella viilettävä valopallo on upea näky. Tällaisen pinnalta hehkuvan kiven nopeus hidastuu alemmassa ilmakehässä niin nopeasti, että sen hehkuminen lakkaa ja jäljelle jäänyt kivi, meteoriitti, putoaa maan pinnalle.

Meteoroidia pidetään usein pikkuplaneettojen keskinäisissä törmäyksissä syntyneinä sirpaleina. Useiden meteoroidien on kuitenkin huomattu koostuvan kivensiruja löyhemmästä aineesta. Ne saattavat olla myös aurinkokunnan syntyvaiheessa yksikseen jääneitä kappaleita, jotka ovat vaeltaneet radallaan kunnes ne törmäävät johonkin planeettaan tai kuuhun. Siksi meteoriittitutkimus antaa tietoa myös olosuhteista aurinkokunnan syntyaikoina.

Suomesta on löydetty vain 13 meteoriittia, ja suurin osa niistä on Helsingin yliopiston geologian laitoksella. Suurin suomalaisista meteoriiteista on Porvoon lähelle pudonnut Bjurbölen meteoriitti, josta saatiin talteen yli 300 kg avaruuden kiveä.

Aurinkokunnan massiivisinta kappaletta Aurinkoa siis kiertävät planeetat (9 kpl), pikkuplaneetat (yli 3 000 kpl) ja meteoroidit (100 000 . . . ?), ja planeettoja kiertävät niiden kuut (yli 50 kpl). Mallistamme puuttuu vielä jotain. — Tietystikin pyrstötähdet eli komeetat!

2. Vanhoja ajatuksia komeetoista

Jotta lukija voisi ymmärtää, miten pyrstötähdet ja niiden tutkiminen ovat lisänneet tietämystämme aurinkokunnasta ja sen rakenteesta ja miten aurinkokunnan rakenteen tunteminen on vaikuttanut pyrstötähtien tutkimiseen, on hyvä palata ajassa reilusti taaksepäin ja kurtistaa, millaisista puitteista komeettatutkimuksessa lähdettiin liikkeelle.

Millainen siis oli maailmankuva 2 000 – 3 000 vuotta sitten ja miten pyrstötähdet siihen liittyivät? Tähtitaivas oli nähtävissä samanlaisena jokaisena kirkkaana yönä. Vanhan ajan tähtientarkkailijat yhdistelivät kirkkaita tähtiä viivoilla, jolloin niistä saatiin taivaalle helpommin tunnistettavia alueita, tähdistöjä.

Päivällä taivaankannen läpi kulkevaa Aurinkoa ei kummeksuttu, niin kuin ei yöllä kelmeää valoa loistavaa Kuutakaan. Outoja olivat sen sijaan planeetat, nuo varsin kirkkaat tähtimäiset taivaankappalet, jotka kukin liikkuvat taivaalla muista riippumatta, useimmiten eteenpäin, joskus myös hetken taaksepäin. Välillä niiden liike näytti olevan pysähdyksissä. Planeettoja tunnettiin tuolloin viisi kappaletta: Merkurius, Venus, Mars, Jupiter ja Saturnus. Yöllisellä taivaalla vilahteli myös tähdenlentoja, ja joskus hyvin harvoin ilmestyi näkyviin kirkas pyrstötähti. Se herätti pelkoa ja kauhua ja näkyi aikansa pitkine hulmuavine pyrstöineen liikkeessaan tähtien joukossa. Vähitellen se sitten himmeni kadoten viimein kokonaan näkyvistä. Jäljelle jäi taas pimeä yöllinen tähtitaivas, joka planeettoja lukuunottamatta näytti turvallisen muuttumattomalta kimmeltävine valopisteineen.

Pythagoras: planeettoja

Kreikkalaisilla filosofeilla alkoi 500-luvun vaiheilla eKr. herätä mielenkiinto taivaan ilmiöitä kohtaan. Noina aikoina elänyt Pythagoras selitti oikein Kuun vaiheet ja päätteli Kuun pallomaisen muodon. Myös Aurinko näytti pallolta. Pythagoras oli ensimmäisiä, joka ajatteli, että Maakin voisi muiden taivaankappaleiden tapaan olla pallo ja että se olisi levossa maailmankaikkeuden keskellä.

Pythagoras arveli pyrstötähtien olevan planeettoja, jotka ilmestyivät näkyviin satunnaisesti eivätkä koskaan etääntyneet kauas Aurin-

Ptolemaioksen maa-keskisessä maailmankuvassa maailmankaikkeuden keskellä olevaa maapalloa kiersivät Kuu, Merkurius, Venus, Aurinko, Mars, Jupiter ja Saturnus. Uloimpana olivat kiintotähtien pallonkuoret. (Piiros Apianin mukaan)

gosta, kuten ei planeetta Venus eikä Merkuriuskaan. Hippokrates (400-luvulla eKr.) ei uskonut, että komeetan pyrstö kuuluu itse komeettaan. Hänen mukaansa kyseessä oli pikemminkin jokin heijastuman luoma mielikuva, joka näytti pyrstöltä.

Pythagoras mietti myös tähtiä. Jos Maa kerran oli maailmankaikkeuden liikkumaton keskus, täytyi tähtien kiertää Maata. Hänen mielestään ne oli kiinnitetty suureen kristallipalloon, joka kiersi kerran päivässä Maan ympäri. Lisäksi kullakin planeetalla sekä Kuulla ja Auringolla oli oma kristallipallonsa, jonka mukana ne liikkui Maan ympäri.

Pythagoraan jälkeen mietiskelivät planeettojen liikkeitä mm. filosofi Plato (428–347 eKr.) ja Eudoksos Knidoslainen (409–356 eKr.). Jälkimmäinen selitti aurinkokunnan liikkeitä 27 pallonkuoren avulla. Aristoteles (384–322 eKr.) lisäsi pallonkuorten määrää 56:een saadakseen selitetyksi taivaankappaleiden havaitut liikkeet.

Aristoteles: sääilmiöitä

Useat kreikkalaiset ja roomalaiset ajattelijat pitivät Pythagoraan tavoin pyrstötähtiä taivaankappaleina. Aristoteles esitti kuuluisassa teoksessaan *Meteorologica*, ettei komeettojen taivaallinen luonne sovi niille. Tuohon aikaan tähtitiede oli pitkälti astrologiaa eli tähdistä enustamista, ja vain planeetat ja planeettainkaltaiset taivaankappaleet

liikkui eläinradan tähdistöjä pitkin. Komeettojen oli nähty liikuvan ympäri taivasta, joten ne eivät voineet olla taivaankappaleita. Ne eivät voineet olla peräisin myöskään planeettojen kohtaamisista eivätkä tähtien yhteensulautumisista, sillä niiden havaittiin katoavan jättämättä jäljelle tähteäkään.

Pyrstötähdet ilmaantuivat näkyviin hyvin epäsäännöllisesti ja enustamatta. Taivas Kuun radan takana oli tuon ajan filosofien mukaan kuitenkin muuttumaton. Niinpä Aristoteleen mielestä komeettojen täytyi olla Kuun kehän alla eli kuunalisessa muuttuvassa maailmassa. Kuinka ne olisivat myöskään voineet kulkea Kuun tai planeettojen kehien läpi, sillä taivaankappaleilla tuli olla tasainen ympyräliike.

Aristoteleen aikana tunnettiin neljä ”alkuainetta”: maa, vesi, ilma ja tuli. Tuli oli kevyintä ja siksi se nousi ylöspäin. Aurinkokin oli tulta ja siksi ylimpänä. Vesi taas ilmaa raskaampana putosi alaspäin ja maa raskaimpana vajosi vielä vedenkin pohjaan. Pyrstötähtiä pidettiin ilmakehässä olevina tuli-ilmiöinä. Aristoteleen mukaan sellainen muodostui, kun ylöspäin kohoava höyry paloi tulena ilmakehässä, ei niin voimakkaasti, että tuli olisi palanut kuin materia, eikä niin heikosti, että tuli olisi sammunut, vaan riittävästi pitääkseen yllä aineen palamista höyryn tuodessa korkealle ilmakehään lisää ainetta. Näin pyrstötähdet muuttivat muotoaan riippuen siitä, miten maasta höyrystyi ainetta. Itse hän piti selitystään vähintäänkin tyydyttävänä. Myös tähdenlennot sekä revontulien ja Linnunradan synnyn Aristoteles selitti tuli-ilmiön avulla.

Alkuaineita tunnettiin Aristoteleen aikana neljä: tuli, ilma, vesi ja maa. Tuli oli ylinä ja maa alin. Maan päällä olivat vesi (vasen kuva) ja ilma (oikea kuva).

Roomalainen Seneca (4 eKr. – 65 jKr.) ei uskonut Aristoteleen selityksiin, että komeetat ovat äkillisiä tuli-ilmiöitä. Hän osoitti, että komeetat eivät ilmeisesti voi olla ilmakehän ilmiöitä, koska revontulet ja myrskyt eivät vaikuta niihin, vaan ne liikkuvat täydellisen säännöllisesti. Seneca arveli komeettojen olevan luonnon pysyviä luomuksia. Hän totesi Artemidorus Pariolaisen kanssa ettei ole mitään syytä ajatella, että ne harvat planeetat, jotka tunnemme ja jotka liikkuvat eläinrataa pitkin, ovat ainoat olemassaolevat. Voihan olla että muut ovat yleensä näkymättömiä, koska niiden radat ovat asettuneet siten, että ne voidaan nähdä vain kun ne ohittavat ratansa jonkin ääripisteen. "Tulee vielä päivä", jatkoi Seneca, "jolloin ihminen selvittää luonnon ilmiöitä ja saa selville, mitä pyrstötähdet ovat ja mistä ne ovat tulleet."

Myös Apollonius Mynduslainen piti komeettoja erillisinä taivaankappaleina, jotka yleensä liikkuvat avaruuden ylimmissä osissa. Ne ovat nähtävissä Maasta vain kun ne liikkuvat ratansa alimmilla kohdilla.

Aristoteleen opit saivat kuitenkin suuren kannatuksen, ja hänen esittämänsä meteorologinen selitys oli ehkä suurin syytä siihen, miksei pyrstötähdistä oltu kiinnostuneita Euroopassa seuraavaan 1500 vuoteen. Vaikka tähtitiedettä harrastettiin, ei esimerkiksi pyrstötähtien paikkoja tai niiden kuvailuja löydy Euroopan tähtitornista ennen kuin 1300-luvun lopulta. Sen sijaan Kiinassa ja Japanissa niistä on pidetty kirjaa ja tehty muistiinpanoja.

Komeettatutkimus keskiajalla

Vuosituhanneen vaiheilla ei komeetoista kirjoitettu kovinkaan positiiviseen sävyyn. Niitä pidettiin pahoina ja tuhoatuottavina enteinä. Arveltiin, etteivät ne vain merkinneet pahaa vaan myös aiheuttivat pahaa saastuttaessaan ilmaa kuumilla ja haisevilla höyryillään. Jos jokin luonnonmullistus tai erikoinen tapahtuma sattui samaan aikaan kuin komeetta oli taivaalla, laitettiin se heti syylliseksi tapahtumaan.

Vasta 1400-luvulla alettiin pyrstötähdistä kerätä systemaattisesti tietoja. Tuolloin nähtiin useita pyrstötähtiä ja niiden paikoista tehtiin havaintoja, joita on voitu myöhemmin käyttää jopa komeettojen radan määrittämiseen. Ensimmäisiä, joka yritti mitata pyrstötähtien etäisyyden, oli itävaltalainen Georg Peurbach (1423 – 1461). Hän teki hyviä havaintoja vuonna 1456 kesällä näkyneestä komeetasta, mutta sen etäisyyttä hän ei yrityksestä huolimatta kyennyt määrittämään. Samaa yritti Johannes Müller (1436 – 1476), joka tunnetaan paremmin latinalaiselta nimeltään Regiomontanus, vuonna 1472 näkyneestä komeetasta. Peurbach ja Regiomontanus käyttivät komeetan etäi-

Vuoden 1528 pyrstötähti aikalaistensa kuvauksen mukaan: "Tämä komeetta oli niin hirveä ja pelottava ja aiheutti yleisössä niin suurta kauhua, että useat kuolivat pelosta ja toiset sairastuivat."

syyden määrittämiseen kolmiomittauksella. Kahdesta paikasta yritettiin havaita kohteen suunta taustatähtiin nähden, ja havainnoista koetettiin laskea parallaksi eli kolmion mittauskantaa vastaan oleva kulma. Menetelmä oli oikea, mutta havaintotarkkuus oli vielä niin huono, ettei kunnon tuloksia saatu. Esimerkiksi Regiomontanus sai tulokseksi, että vuoden 1472 komeetalla ei ollut kuutta astetta suurempaa parallaksia. Tulos ei kertonut juuri mitään komeetan etäisyydestä.

1500-luvulla huomattiin, että komeettojen pyrstöt osoittivat aina poispäin Auringosta, vaikka niiden paikka taivaalla muuttuikin. Tämän panivat merkille erityisesti Jerome Fracastor (1483 – 1543) ja Peter Apian (1495 – 1552). Myös kiinalaiset tähtitieteilijät olivat kirjoittaneet, että komeettojen pyrstöt "lentävät Auringon säteistä".

Vuonna 1550 Jerome Cardan julkaisi teoksen *De Subtilitate*, jossa oli osia myös komeetoista. Hän kertoo huomanneensa (vaikka ei sanokaan miten), että komeetoilta puuttuu parallaksi, joten ne eivät voineet olla ilmakehän ilmiöitä. Hänen mielestään ne olivat taivaalle muodostuneita palloja, joita Aurinko valaisi. Auringon säteet paistoiivat komeetan läpi, jolloin näytti siltä kuin niillä olisi pyrstö. Pyrstöt olivat Cardanin mukaan vain näköharhaa.

Maailmankuva muuttuu

Kuudennelatoista vuosisadalla ihmisten maailmankuvassa tapahtui suuri muutos. Yli 1500 vuotta vallalla ollut Ptolemaioksen maakes-

kinen maailmankuva, jonka mukaan Maa oli maailmankaikkeuden liikkumaton keskus ja planeetat ja tähtitaivas kiersivät Maata, mureni. Puolalainen tähtitieteilijä Nikolaus Kopernikus julkaisi 1543 teoksen *De Revolutionibus Orbium Coelestis Libri VI* eli Kuusi kirjaa taivaan kehien kiertoliikkeestä. Hän siirsi keskuksesi Auringon, jota kaikki planeetat Maa mukaanlukien kiertävät ympyrä ratoja pitkin. Planeettojen oudot liikkeet johtuivatkin vain Maan liikkumisesta.

Vuonna 1572 Kassiopejan tähdistöön ilmestyi uusi kirkas tähti. Se oli näkyvissä vuoden päivät. Tanskalainen tähtitieteilijä Tycho Brahe (1546 – 1601) teki uudesta tähdestä, supernovasta, tarkkoja havaintoja mittalaitteillaan Hvenin saarella Tanskan salmessa. Tychon paikannittaukset olivat parhaita mahdollisia, joita voitiin tehdä ilman optisia apuvälineitä. Jos supernova olisi ollut kuunalisessa muuttuvassa maailmassa, olisi Tycho havainnut sen paikan vaihtelevan ajan mukana. Hän ei kuitenkaan pystynyt mittaamaan uuden tähden parallaksia, joten hän sijoitti sen kiintotähtien joukkoon. Kiintotähtien etäisyydeksi Tycho arveli 14 000 maapallon sädettä. Uuden tähden etäisyydeksi hän arvioi hieman vähemmän, 13 000 maapallon sädettä.

Tychon havainto aiheutti suurta hämminkiä, sillä kuunylisessä maailmassa ja varsinkin kiintotähtitaivaalla kaiken piti olla muuttumatonta. Kuitenkin kiintotähtien joukkoon ilmestyi uusi tähti. Tyc-

Tycho Brahe ja hänen maailmankuvansa, jonka keskellä oli Maa ja sitä lähinnä kiersi kuu (B). Kauempana kiersi Aurinko (C), jota puolestaan kiersivät Merkurius ja Venus. Venuksen radan ulkopuolelle on merkitty vuoden 1577 komeetan ympyrä rata.

hon mielestä tähti ei voinut olla komeetta eikä meteori, sillä nehan olivat kuunalisen maailman ilmiöitä. Supernovan havaitsemisen myötä alkoi Aristoteleen kuva muuttumattomasta taivaasta himmentyä.

Komeetatkin kaukaisia

Viisi vuotta myöhemmin, marraskuun 13. päivänä 1577, löydettiin uusi kirkas komeetta, joka näkyi paljain silmin seuraavan vuoden tammikuun lopulle saakka. Pyrstötähti oli ollut lähimpänä Aurinkoa jo lokakuun lopussa, joten se etääntyi Auringosta koko ajan. Tycho Brahe havaitsi komeettaa koko sen näkymisen aikana ja pyrki mittaamaan sen etäisyyden.

Tycho mittasi tarkasti komeetan paikkoja tähtien suhteen, kun se oli korkealla ja matalalla taivaalla. Jos komeetta olisi ollut Maan ja Kuun välissä, olisi havainnoista täytynyt löytyä yli yhden asteen suuruinen parallaksi. Tycho sai parallaksiksi alle 15 kaariminuuttia. Tämä merkitsi sitä, että komeetan täytyi olla vähintään 230 Maan säteen päässä, siis kaukana Kuun takana! Myöhemmin Tycho vertasi Hageciuksen Prahassa tekemiä paikanmäärytyksiä omiinsa ja sai Tanskassa ja Prahassa mitattujen paikkojen eroiksi 1–3 kaariminuuttia. Koska Prah ja Hvenin välinen etäisyys on noin 600 km, antaisi kahden kaariminuutin parallaksi komeetan etäisyydeksi noin neljä miljoonaa kilometriä!

Tycho yritti vuoden 1577 komeetasta tekemistään havainnoista ensimmäisen kerran laskea myös komeetan radan. Hän sai tulokseksi, että komeetta liikkui Auringon ympäri pyöreällä radalla Venuksen radan ulkopuolella. Sen suurin kulmaetäisyys Auringosta oli 60° ja liike vastakkainen planeettoihin nähden. Tycho ei kyennyt esittämään havaitsemiaan paikkoja tasaisen ympyräliikkeen avulla. Hän piti rataa kuitenkin ympyränä, koska planeetoille olivat sallittuja vain ympyräliikkeet, mutta hän arveli komeetan nopeuden olevan hieman epäsäännöllistä. Vaihtoehtona hän ehdotti varovasti, että rata ”ei ehkä ole täysin ympyrä, vaan hiukan pitkulainen kuten kuvio, jota kutsutaan soikioksi”.

Vuoden 1577 komeetan pään halkaisija oli Tychon mittausten mukaan 8 kaariminuuttia ja pyrstön pituus 22° sekä leveys löytöpäivänä 2.5°. Näistä tiedoista sekä komeetan etäisyyksimittauksista Tycho laski pyrstötähden todellisen koon. Hän havaitsi, että komeetta oli todella valtavan suuri, vaikka se näytti Maan päältä niin pieneltä.

Planeettojen ja komeettojen radat

Tycho ei kunnostautunut vain komeetan etäisyyden määrittämisessä, vaan hänen havaintonsa planeettojen, etenkin Marsin liikkeistä olivat

niin tarkkoja, että Johannes Kepler (1571 – 1630) niitä hyväksikäyttäen laski Marsin radan. Kepler osoitti, että Mars liikkuu Auringon ympäri pitkin ellipsirataa, jonka toisessa polttopisteessä on Aurinko. Myöhemmin Kepler selvitti muutkin planeettojen liikettä säätelevät lait. Vaikka Kepler sai laskujensa tuloksena planeettojen radan elliptiseksi, ei hän uskonut, että komeetoilla voisi olla samanlainen rata. Hän ajatteli, että komeetat kulkevat suoraviivaisesti avaruudessa. Vain niiden nopeus olisi epäsäännöllinen.

Kaukoputki keksittiin vuoden 1610 paikkeilla. Vaikkei se heti tuonutkaan lisää selvyyttä komeettoihin, oli siinä väline entistä tarkempien paikanmittausten tekemiseen.

Ongelma komeetan radoista oli 1600-luvulla edelleen ratkaise-matta. Italialainen Giovanni Borelli (1608 – 1679) julkaisi oletuksen, että komeettojen radat olisivat paraabeleja. Samaa mieltä oli saksalainen tähtitieteilijä Johannes Hevelius (1611 – 1687). Hevelius päätteli, että komeetat ovat peräisin Jupiterin ja Saturnuksen kaasukehistä. Kun komeetta oli irtautunut suuren planeetan ilmakehästä, se liikkui suoraviivaisesti. Avaruudessa oleva vastustava aine poikkeutti kuitenkin liikkeen suoraviivaisesta liikkeestä ja tuloksena oli joko paraabeli tai hyperbeli. Hevelius ei kuitenkaan asettanut Aurinkoa käyrän polttopisteeseen.

Hevelius osoitti tarkoilla havainnoillaan lopullisesti, että komeetat ovat paljon Kuuta kauempana. Tychon käsitykset komeettojen etäisyydestä saivat varmistuksen vasta 60 vuotta tämän kuoleman jälkeen.

Newton ratkaisee ongelman

Vuonna 1680 löydettiin komeetta, joka eteni kohti Aurinkoa. Hävittyään Auringon loisteeseen se ilmestyi pian uudelleen näkyviin kulmien samalla nopeudella, mutta lähes vastakkaiseen suuntaan. Tämä pyrstötähti näkyi nelisen kuukautta, ja sen omituisen liikkeen selvittäminen toi lopulta ratkaisun komeettojen radan ongelmaan.

Greenwichin tähtitornissa oli J. Flamsteed ja Pariisin tähtitornissa M. Cassini havainnut hyvin tarkasti tämän komeetan liikkeitä. Heidän havaintojensa pohjalta Isaac Newton (1642 – 1727), joka oli juuri keksinyt painovoimalakinsa ja ratkaissut sen avulla planeetto-

Johannes Heveliuksen teoksen *Cometographia* (1688) kansikuvassa keskellä Hevelius yrittää selittää epäileville kollegoilleen, miten komeetat syntyvät. Hevelius arveli komeettojen olevan peräisin Jupiterin ja Saturnuksen ilmakehistä ja liikkuvan Auringon suhteen käyrää rataa. Vasemmalla on vanha aristoteelinen käsitys, jonka mukaan komeetat kuuluvat kuunaliseen muuttuvaan maailmaan, ja oikealla Keplerin käsitys, että komeetat liikkuvat avaruudessa suoraviivaisesti. Taustalla silloinen tähtitorni laitteineen.

Tietolaatikko: Komeetan rata

Keplerin ensimmäisen lain mukaan Aurinkoa kiertävät kappaleet kulkevat pitkin *ellipsiä*, jonka toisessa polttopisteessä on Aurinko. Newtonin painovoimalaista saadaan Keplerin laille yleisempi muoto: kappaleet voivat liikkua myös pitkin *paraabelia* tai *hyperbeliä*, jotka ovat molemmat avoimia, äärettömän kauas ulottuvia käyriä. (Ks. tarkemmin luku 8.)

Ellipsin, paraabelin tai hyperbelin Aurinkoa lähinnä oleva piste on nimeltään *periheli*. Ellipsin kaukaisin piste on *apheli*.

jen liikkeit, koetti määrätä komeetan radan muodon. Hän huomasi, että paraabelirata sopi hyvin havaintoihin. Komeetan nopeus radallaan noudatti Keplerin toista lakia. Se liikkui siten että ns. pintanopeus oli vakio. Auringon lähellä liike oli siten nopeaa ja kauempana Auringosta hitaampaa. Näin Newton totesi komeettojen noudatta-

van samaa painovoimalakia kuin planeettojen. Newton kehitti myös menetelmän, jolla pyrstötähden paraabeliratoja voitiin laskea kolmen havainnon perusteella.

Newtonin aikalainen Edmund Halley (1656 – 1742) saattoi Newtonin teorian sellaiseen muotoon, jossa niitä voitiin kätevästi soveltaa käytännön laskuihin. Halley laski myös vuoden 1680 komeetan radan. Se oli hänen mukaansa hyvin soikea ellipsi. Lähinnä Aurinkoa eli perihelissä rata hipoi Aurinkoa. Pyrstötähden perihelietäisyys oli alle miljoona kilometriä. Se kuului siten ns. Kreutzin komeettoihin (ks. luku 5).

Newton kiinnostui todella komeetoista, ja siksi hänen pääteoksensa *Principian* loppuosissa onkin pyrstötähdistä paljon tekstiä. Newton ajatteli, että pyrstötähdet heijastavat auringonvaloa ja siksi ne näkyvät usein vain lähellä Aurinkoa. Komeetan pyrstön hän ajatteli olevan peräisin komeetan ilmakehästä. Hyvin pieni määrä höyryä voisi riittää selittämään komeetan pyrstön ilmiöt. Newton oli tässäkin varsin oikeassa.

Halley laskee ratoja

Edmund Halley keräsi kaikki Euroopassa tehdyt komeettahavainnot. Hän löysi vain kahdestakymmenestä komeetasta riittävästi paikanmäärittäksiä voidakseen laskea niiden radat. Hän laski kaikille komeetoille paraabeliradan, koska se on helpompi laskea kuin ellipsi. Oheisessa taulukossa ovat Halley'n määräämät paraabeliradat vuosien 1337 – 1698 komeetoille.

Vuoden 1680 komeetan rata esitettynä Newtonin *Principiassa*. Rata on Halley'n laskema. Kyseinen komeetta ohitti Auringon hyvin läheltä.

Taulukko. Halley'n laskemat paraabeliradat. Ensimmäisessä sarakkeessa on komeetan perihelietki, seuraavissa perihelin ja nousevan solmun pituusaste, neljännessä radan kaltevuus ja viimeisessä perihelietäisyys. Tähdellä merkityt ovat Halley'n komeetan vierailuja.

Passage of Perihelion, London Time.			Longitude of		Inclina- tion of Orbit.	Distance from Sun at Peri- helion.		
			Peri- helion.	Asc. Node.				
	d.	h.	m.	°	'	°	'	
1337, June	2	6	25	37	59	84	21	0.40666
1472, February	28	22	23	45	34	281	46	0.54273
*1531, August	24	21	18	301	39	49	25	0.56700
1532, October	19	22	12	111	7	80	27	0.50910
1556, April	11	21	23	278	50	175	42	0.46390
<hr/>								
1577, October	26	18	45	129	32	25	52	0.18342
1580, November	28	15	00	109	6	18	57	0.59628
1585, September	27	19	20	8	51	37	42	1.09358
1590, January	29	3	45	216	54	225	31	0.57661
1596, July	31	19	55	228	15	3	2	0.5,293
<hr/>								
*1607, October	16	3	50	302	16	50	21	0.58680
1618, October	29	12	23	2	14	76	1	0.37975
1652, November	2	15	40	28	19	88	10	0.84750
1661, January	16	23	41	115	59	82	30	0.44851
1664, November	24	11	52	190	41	81	14	1.02576
<hr/>								
1665, April	14	5	16	71	54	228	2	0.10649
1672, February	20	8	37	47	0	297	30	0.69739
1677, April	25	00	38	137	37	236	49	0.28059
1680, December	8	00	6	262	40	272	2	0.00612
*1682, September	4	7	39	302	53	51	16	0.58328
<hr/>								
1683, July	3	2	50	85	30	173	23	0.56020
1684, May	29	10	16	238	52	268	15	0.96015
1688, September	6	14	33	77	0	350	35	0.32500
1698, October	8	16	57	270	51	267	44	0.69129

Tuloksistaan Halley huomasi, että vuoden 1682 komeetan rataelementit olivat hyvin samanlaisia kuin Keplerin ja Longomontanuksen havaitseman vuoden 1607 komeetan ja Apianin havaitseman vuoden 1531 komeetan elementit. Perihelijaajoissa (ajanhetkissä, jolloin komeetta on perihelissä) oli eroa noin 75 vuotta ja 76 vuotta. Myös vuonna 1456 oli nähty komeetta, jonka Halley tiesi kulkeneen päinvastaiseen suuntaan kuin planeetat yleensä, aivan kuten vuosien 1531, 1607 ja 1682 komeetat. Tästä Halley päätteli, että kyseessä oli yksi ja sama pyrstötähti. Hän ennusti, että komeetta tulisi näkyviin taas noin 76 vuoden kuluttua, vuonna 1758 tai 59. Halley kuoli 1742.

Miksi komeetan vierailujen väliaika ei ole joka kerta täsmälleen sama? Halley tiesi Newtonin gravitaatiolain perusteella, että suuret planeetat Jupiter ja Saturnus voivat häiritä pyrstötähtien ratoja siten, että niiden kiertoajat muuttuvat. Yksityiskohtaisia häiriölaskuja teki

ensimmäisenä ranskalainen tähtitieteilijä A. Clairaut (1713–1765) 1700-luvulla. Itse ratalasku on jo suuritöinen, mutta vieläkin suuritöisempiä olivat häiriölaskut, varsinkin kun kaikki piti laskea käsin. Clairaut sai assistenttinsa kanssa Halley'n komeetan häiriölaskut valmiiksi vuoden 1758 lopulla. Komeettaa ei ollut vielä silloin löydetty. Laskujen mukaan komeetan piti olla perihelissä huhtikuun 1759 tienoilla.

Jouluyönä 1758 löysi Dresdenin lähellä asuva tähtitieteen harrastaja tuon hartaasti odotetun komeetan, Halley'n pyrstötähden. Perihelissä se oli maaliskuussa 1759, ja sitä havaittiin monissa tähtitornissa ympäri maailmaa. Tämä tapahtuma oli todellinen riemuvoitto Newtonin taivaanmekaniikalle. Ensi kertaa oli onnistuttu ennustamaan pyrstötähden paluu etukäteen. Tämä osoitti lopullisesti, että pyrstötähdet ovat aurinkokunnan jäseniä.

3. Halley ja hänen komeettansa

Hyvinvoivan saippuankeittäjä Halley'n poika Edmund syntyi Lontoon lähellä Haggerstonissa 8. 11. 1656 (vuosi saattoi olla myös 1657). Jo nuoruusvuosinaan hän harrasti matematiikkaa ja tähtitiedettä. Hän hankki myös varojensa mukaan havaintolaitteita, joiden avulla hän tutki taivasta.

Taivaankappalten liike

Edmund Halley'n elinikäiseksi mielenkiinnoksi muodostui kysymys aurinkokunnan jäsenten, erityisesti Kuun ja pyrstötähtien liikkeistä. Erikoisesti häntä kiinnosti, miten taivaankappaleiden liiketila voidaan määrätä Maan pinnalta tehtyjen havaintojen perusteella. Tähtitieteilijät olivat 1600-luvun puoliväliin mennessä hyväksyneet ajatuksen, että oikean kuvan planeettojen liikkeestä antoivat Keplerin lait. Keskeisin näistä laeista oli, että planeetat kiertävät Aurinkoa ellipsin muotoisella radalla, jonka toisessa polttopisteessä on Aurinko.

Alkuaan Keplerin lait olivat vailla fysikaalista perustaa olevia havainnoista johdettuja sääntöjä. Halley'n ollessa noin 10 vuoden ikäinen ratkaisi Cambridgen yliopiston nuori matemaatikko Isaac Newton kysymyksen planeettaliikkeen perustana olevista fysiikan laeista, mutta tässä vaiheessa hän ei halunnut saattaa tuloksiaan julkisuuteen. Newtonin suurtyön parikymmentä vuotta myöhemmin tapahtuvassa julkistamisessa oli Edmund Halleylla varsin keskeinen osuus. Keplerin lait ovat suora seuraus Newtonin gravitaatiolaista, jonka mukaan kaikki massapisteet vetävät toisiaan puoleensa voimalla, joka on suoraan verrannollinen niiden massoihin ja kääntäen verrannollinen niiden välisen etäisyyden toiseen potenssiin.

Tähtitaivas ja magnetismi

Halley tiesi, että sellaiset tähtitieteilijät kuin Cassini, Flamsteed ja Hevelius olivat tehneet huomattavasti havaintoja aurinkokunnasta ja pohjoisesta tähtitaivaasta. Halley ei aikonut kilpailla näiden suurten havaitsijoiden kanssa, vaan hän suuntasi kiinnostuksensa eteläiselle tähtitaivaalle, josta ei ollut vielä hyviä havaintoja.

Upea valokuva Halley'n komeetan päästä 8. 5. 1910 otettuna 150 cm kaukoputella. Pyrstössä näkyvät kauniisti kuitumaiset yksityiskohdat. (Kuva Hale Observatories)

Edmund kyseli eräiltä ystäviltään neuvoa parhaasta eteläisten tähtien havaintopaikasta, ja niiden perusteella hän valitsi St. Helenan saaren. Halley sai taloudellista apua yritykseensä isältään ja kuningas Kaarle II:lta.

Halley otti matkalle mukaansa suuren sekstantin, kaukoputkia ja mikrometrejä. Hänen suurin kaukoputkensa oli yli 7 metrin pituinen. Halley lähti purjelaivalla St. Helenalle marraskuussa 1676 ollessaan vasta 20 vuoden ikäinen. Kolmen kuukauden kuluttua hän oli perillä. Pian hän huomasi, ettei ilmasto ollutkaan niin hyvä, kuin hänelle oli kerrottu. Sateet ja samea taivas eivät antaneet Halleylle montakaan tilaisuutta tutkia eteläistä tähtitaivasta. Vuoden loppuun mennessä hän oli havainnut vain alle 400 tähden paikat. Palattuaan matkalta hän julkaisi kuitenkin luettelonsa *Catalogus stellarum australium*.

Seuraavina vuosina Halley tutki mm. Kuun liikettä. Hänen tarkoituksensa oli käyttää kuututkimuksen tuloksia tuon ajan merenkulun polttavimman ongelman ratkaisemisessa eli pituusasteen määrittämisessä.

Edmund Halley
(1656–1742).

EDMUNDUS HALLEYUS R.S.S.

... Astronomus Regius et Geometriae Professor Astronomus

Halley havaitsi myös 1677 Merkuriuksen ylikulun Auringon editse. Ylikulun avulla yritettiin määrätä Auringon etäisyys. Mittaustarkkuus oli kuitenkin liian huono kunnollisten tulosten saamiseksi.

Myös Maan magneettisuus kiinnosti Halleytä. Hän ajatteli, että kompassineulan poikkeamista voisi olla apua pituusasteen määrittämiseen merellä. Niinpä hänelle annettiin 1698 kapteenin virka kuninkaallisessa laivastossa, jotta hän voisi matkoillaan tutkia kompassin avulla tapahtuvaa pituusasteen määrittämenetelmäänsä. Halley purjehti 1699 kolmimastoisella Paramour-aluksellaan Etelä-Atlantille peräti 52.5:nnele eteläiselle leveysasteelle, jossa hän kohtasi jo jäävuoria. Seuraavana vuonna hän palasi matkaltaan, ja 1701 hän julkaisi kartan kompassineulan vaihteluista Atlantin valtamerellä merimiehiä varten. Vuonna 1702 hän julkaisi magneettisen kartan koko maailman meristä. Nykyisen maamagnetismin tutkimuksen voidaan katsoa alkaneen juuri Halley'n mittauksista.

Kuninkaallinen tähtitieteilijä

Vuonna 1675 perustettiin observatorio kuninkaalliseen Greenwichin puistoon Thamesin lähelle ja sinne rakennettiin tähtitorni. Observatorion tarkoituksena oli tehdä tähtitieteellisiä havaintoja merenkulun ongelmien auttamiseksi. Observatorion ainoaksi virkamieheksi ja kuninkaalliseksi tähtitieteilijäksi kuningas Kaarle II nimitti John Flamsteedin. Hän toimi virassa vuosina 1675–1719 pienellä vuosipalkalla ilman ainoatakaan apulaista. Flamsteed teki havaintoja itse hankkimillaan ja kustantamillaan laitteilla, ja tuloksena syntyi hänen 3000 tähteä käsittävä luettelonsa *Historia Coelestis*, jonka hänen myöhemmät apulaisensa julkaisivat kolmessa osassa Flamsteedin kuoleman jälkeen.

Edmund Halley oli toiminut Oxfordin yliopiston geometrian professorina vuodesta 1704 lähtien. Vuonna 1720 Halley, joka oli jo 63 vuoden ikäinen, valittiin Flamsteedin seuraajaksi, toiseksi kuninkaalliseksi tähtitieteilijäksi Greenwichiin.

Halley'n toiminta Greenwichissä alkoi hankaluuksilla. Flamsteedin leski oli poistanut kaikki instrumentit observatoriosta väittäen niitä edesmenneen miehensä henkilökohtaiseksi omaisuudeksi. Niinpä Halley'n tuli aloittaa observatorion varustaminen aivan alusta. Vuonna 1721 hän sai kuitenkin puolustusministeriöltä 500 punnan apurahan, jolla hän hankki pienen ohikulkukoneen. 1725 oli vuorossa Grahamin tekemä 8 jalan kvadrantti. Nämä molemmat laitteet ovat edelleenkin Greenwichissä nähtävillä.

Flamsteed oli tehnyt tähdistä paljon havaintoja, mutta laiminlyönyt kuuhavainnot. Siksi Halley suunnitteli parantavansa nimen-

omaan kuutaulukoi, jotta niiden avulla voitaisiin määrittää pituusaste merellä. Halley ajatteli, että Kuuta pitäisi havaita koko nutaatiojakson aika eli aika jona Kuun solmuviiva kiertää yhden kierroksen (18.6 vuotta). Se oli rohkea yritys vanhalle miehelle. Halley vei kuitenkin sinnikkäästi suururakkansa läpi vuosien 1722 ja 1739 välillä. Vuonna 1731, kun havaintoja oli tehty yhdeksän vuotta, hän esitti työnsä edistymisen Kuninkaalliselle tiedeseuralle. Jo senastisten tulosten avulla oli mahdollista laskea Kuun paikka kahden kaariminuutin tarkkuudella, mikä näytti tuovan ratkaisun kiusalliseen paikanmääritysongelmaan.

Vuonna 1739 Halley'n terveys heikkeni ja hänen oli luovuttava ha-

Halley'n komeetan päästä tehtyjä piirroksia 20 jalan peilikaukoputkella 28. 1., 31. 1., 11. 2. sekä 3. 5. 1836. (Kuva Yerkes Observatory)

vaintojenteosta. Hän tarjoutui ottamaan eron virastaan ja suositteli seuraajakseen James Bradleyta, jonka kyvykkyyden hän oli havainnut. Halleyta pyydettiin kuitenkin jatkamaan virassaan, ja hän toimi siinä kuolemaansa asti. Edmund Halley kuoli 86 vuoden ikäisenä 14. 1. 1742. James Bradley jatkoi Greenwichissä hänen jälkeensä kolmantena kuninkaallisena tähtitieteilijänä.

Halley'n komeetta

Halley oli ennustanut 1680-luvulla nähdyn komeetan palaavan Auringon lähelle 1758 – 59. Hän ehti kuolla ennen komeetan tuloa. Halley'n kuoleman jälkeen kolme ranskalaista tähtitieteilijää laski toisistaan riippumatta pyrstötähden radan entistä tarkemmin. Laskujen avulla tähtitieteilijät yrittivät etsiä pyrstötähteä vuoden 1758 lopussa ennustetuista paikoista. Komeettoja säännöllisesti etsivä ranskalainen Charles Messier löysi Halley'n tammikuun 27. päivänä 1759. Pian hän sai kuitenkin pettymyksekseen kuulla saksalaisen tähtitieteen harrastajan Johann Palitschin löytäneen sen jo 25. joulukuuta 1758. Pyrstötähdestä tehtiin runsaasti paikkahavaintoja, ja niistä voitiin pian laskea, että ennustettu periheli aika poikkesi todellisesta vain 32 vuorokautta. Pyrstötähteä ruvettiin sanomaan Halley'n komeetaksi.

Vuoden 1759 havaintojen perusteella tähtitieteilijät alkoivat laskea Halley'n paikkoja vuodeksi 1835, siis sen seuraavaa paluuta silmälläpitäen. Nyt he ottivat huomioon kaikkien kuuden tuolloin tunnetun planeetan aiheuttamat gravitaatiovaikutukset. Vuonna 1781 William Herschel kuitenkin löysi seitsemännen planeetan, Uranuksen. Halley'n pyrstötähden rata täytyi laskea uudelleen ottaen huomioon myös uuden planeetan gravitaatiohäiriöt. Tähtitieteilijät saivat seuraavaksi perihelilihetkeksi hiukan erilaisia tuloksia. Damoiseau sai periheliksi 4. 11. 1835, Pontecoulant 13. 11. ja Rosenberger 26. 11.

Vuoden 1835 vierailu

Jo joulukuussa 1834 Halley'n komeettaa etsittiin tuloksetta. Ensimmäisenä sen löysi Isä Domousel Roomassa, Vatikaanin tähtitornissa elokuun 5. päivänä 1835. Samana päivänä sen löysi myös de Vico. Laskujen perusteella saatiin Halley'n periheli ajaksi 16. 11. Pontecoulant oli laskuistaan saanut vain kolme päivää aikaisemman tuloksen.

Vuoden 1835 vierailun aikana tehtiin Halleysta havaintoja seuraavaan kevääseen asti. Syyskuussa 1835 komeetta näkyi kaikkialla helposti paljain silmin, ja lokakuun puolivälissä sillä oli jo 20 asteen pituinen komea pyrstö. Komeetta näkyi paljain silmin helmikuun 1836 loppupuolelle asti. Viimeiset havainnot komeetasta tehtiin 19. 5. 1836. Tuolloinkin Halley olisi näkynyt vielä 10 cm luokkaa olevalla

Vanhoja piirroksia Halley'n komeetas-
ta: vuodelta 684
Nürnbergin kroni-
koista (vasemmal-
la), vuodelta 1066
Bayeuxin gobeliini-
sta (alla) ja vuodel-
ta 1531 P. Apianin
puupiirroksista.

kaukoputkella, sillä sen kirkkaus oli noin 10 magnitudia, mutta se oli niin lähellä Aurinkoa, ettei havaintoja voitu enää myöhemmin jatkaa.

Vuosien 1835 – 36 näkymisjakson aikana preussilainen Friedrich Bessel teki runsaasti havaintoja pyrstötähden päästä sekä pyrstöstä. Hän näki, kuinka ytimestä purkautui kaasusuihkuja ja komeetan pää muistutti sateenvarjoa, joka osoitti Aurinkoa päin.

Kaiken kaikkiaan vuoden 1835 ohitusta havaittiin tarkasti. Kun pyrstötähdessä saatiin hyviä paikkamittauksia (noin 5000 kpl), alettiin laskea Halley'n rataakin tarkemmin, nyt myös taaksepäin. Useat

matemaatikot ja tähtitieteilijät pääsivät vertailemaan vanhoja kiinalaisia havaintoja Halley'n taaksepäin laskettuihin paikkoihin.

Vanhoja havaintoja

Jo Halley itse huomasi, että vuonna 1456 Belgradin sodan aikana havaittu näyttävä pyrstötähti oli sama komeetta. Tuolloin Turkin armeija herätti pelkoa Euroopassa, ja noilta ajoilta lienee peräisin lausahdus ”Jumala varjelkoon meitä paholaisilta, turkkilaisilta ja pyrstötähdiltä”.

Ranskalainen matemaatikko J. K. Burckhart osoitti 1700-luvulla, että Kiinassa ja Euroopassa syksyllä 989 laajalti havaittu kirkas pyrstötähti oli myös Halley'n aikaisempi ilmestyminen. Pariisin observatoriossa työskennellyt tähtitieteilijä P. Laugier laski, että vuosilta 451, 760 ja 1378 tehdyt pyrstötähtihavainnot viittasivat samoin Halley'n komeettaan.

Englantilainen John Russell Hind oli hyvin kiinnostunut pyrstötähdistä jo pienessä. Ollessaan 12-vuotias hän näki 1835 Halley'n komeetan. Hind alkoi penkoa vanhoja kiinalaisia vuosikirjoja ja löysikin 15 Halley'n havaittua periheliohitusta. Niistä vanhin oli vuodelta 12 eKr.

Hindin luetteloa pidettiin melko täydellisenä, kunnes 1900-luvun alussa Philys Cowell ja A. C. D. Crommelin kuninkaallisessa Greenwichin tähtitornissa laskivat aiempaa paljon tarkemmin Halley'n radan.

Cowell ja Crommelin havaitsivat, että kolme Hindin tunnistamaa Halley'n aikaisempaa näkymistä olivat vääriä ja loput 12 oikeita. Herat jatkoivat laskujaan vuoteen 466 eKr. asti. Myöhemmin Kiinassa tehdyistä muistiinpanoista löytyikin 239 eKr. ja 466 eKr. tehtyjä Halley'n pyrstötähtihavaintoja. Vuoden 466 eKr. havainto ei ollut täysin varma.

Vuoden 1910 vierailu

Kun Halley'n rata tunnettiin nyt aikaisten havaintojen perusteella entistä paremmin, Cowell ja Crommelin laskivat seuraavan perihelin ajankohdan. He saivat päivämääräksi huhtikuun 16. 1910. Halleyta etsittiin jo vuonna 1908, ja nyt käytettiin apuna valokuvausta. Valoku-

Tästä kuvasta löysi Max Wolf Halley'n komeetan 11. 9. 1909. Kuvan Wolf otti Heidelbergissa 72 cm peilikaukoputkella yhden tunnin valotusajalla.

vaus oli tullut tähtitieteen käyttöön 1800-luvun lopulla. Ensimmäinen valokuvauksellisesti löydetty pyrstötähti oli Barnardin pyrstötähti vuodelta 1892.

Halley'n komeetan löysi 11. 9. 1909 professori Max Wolf Heidelbergissä Königstuhlin tähtitornissa otetusta valokuvauslevystä. Komeetta löytyi erittäin läheltä Cowellin ja Crommelinin laskemaa paikkaa. Samasta alueesta oli otettu valokuvia myös Greenwichissä kaksi päivää aikaisemmin, mutta komeettaa ei löydetty siellä ennen kuin Wolf oli ilmoittanut löydöstään. Tämän jälkeen komeettaa kuvattiin useissa tähtitorneissa, ja pian sille voitiin laskea tarkennetut paikat.

Crommelin huomasi Halley'n rataa laskiessaan, että toukokuun 18. päivänä 1910 komeetta tulisi kulkemaan Auringon kiekon editse (eli Maan ja Auringon välistä). Tuolloin tulisi hyvä tilaisuus ottaa kuvia tapahtumasta spektroheliografilla (laitteella, jolla kuvataan Auringon vain yhdellä aallonpituudella) ja tutkia komeetan ydintä ja koma muutamalla mielenkiintoisilla aallonpituuksilla.

Halley komeimmillaan 12. ja 15. 5. 1910. Yläkuvassa pyrstön pituus on 30°, alakuvassa 40°. (Kuva Hale Observatories)

Halley'n komeetan kehitys 26. 4. – 11. 6. 1910. (Kuva Hale Observatories)

Komeettojen ylikulut Auringon editse ovat erittäin harvinaisia. Edellinen ylikulku tapahtui suurella komeetalla 1882, joka näkyi täydessä päivänvalossakin lähellä Aurinkoa.

Toukokuun alkupuolella Halley näkyi hienosti aamutaivaalla lähellä kirkasta Venusta. Toukokuun 16. päivänä komeetta häipyi aamuhämärään, vaikka sen pää näkyi vielä. Sen koko oli kasvanut päiväpäivältä, ja se oli kirkastunut lähestyessään Maata.

Toukokuun 18. päivänä Halley'n komeetalle havaittiin käyvän aivan samoin kuin kävi vuoden 1882 komeetalle. Kun pyrstötähti kulki Auringon editse, se katosi täysin näkyvistä. Itse komeetan ydin on niin pieni, ettei se näy Auringon pintaa vasten, ja koma niin harvaa kaasua, ettei sekään aiheuta varjostusta.

Komeetan pyrstön läpi

Samana päivänä kun Halley lensi Auringon yli, piti maapallon olla muutaman tunnin ajan komeetan pyrstön sisällä. Ilmoitus tästä aiheutti suurta hämminkiä, sillä tiedettiin, että komeetoista otetuissa spektreissä näkyi myrkyllisiä kaasuja kuten hiilimonoksidia (eli häkää), syaanivetyä (eli sinihappoa) sekä muita orgaanisia hiilivetyjä ja niiden osasia. Tosin pyrstön tiedettiin olevan niin harvaa kaasua, että vaikka Maa kulkisikin sen läpi, ei yksikään kemisti havaitsisi mitään muutoksia Maan päällä.

Maapallolla olivat useat tiedemiehet varustautuneet mittalaittein mittaamaan komeetan pyrstön vaikutuksia. Mm. Norjassa prof. Birkelad matkusti pohjoiseen, sillä hän arveli komeetan pyrstöön liitty-

vien magneettisten ja sähköisten ilmiöiden voivan aiheuttaa revontulia. Meteorologit lähettivät luotauspalluja mittaamaan ilmakehään, jos jotain epätavallista tapahtuisi, jne.

Kun toukokuun 18. päivän ilta tuli, nähtiin komeetan pyrstö niin kaarevana, että Maan kulku pyrstön läpi näytti kaukaiselta mahdollisuudelta. Kahdennenkymmenennen päivän aamuna leveä valovyö levisi horisonttia pitkin 120 – 160 asteen pituisena osoittaen selvästi, ettei maapallo ollut vielä kukaan pyrstön sisällä ja että komeetta oletuksista huolimatta oli vielä itätaivaalla. Sillä oli vähintään 140 asteen mittainen pyrstö, joka oli selvästi jäljessä Aurinko-komeetta-suunnasta. Komeetan ratatason ja Maan ratatason välisestä 18 asteen kulkemasta sekä komeetan pyrstön kaarevuudesta johtuen ei maapallo sitenkään mennyt Halley'n pyrstön läpi.

Tammikuun 1910 komeetta

Halley'n komeetta oli vuonna 1910 komeasti näkyvissä eteläisiltä leveysasteilta. Ne jotka vuonna 1910 näkivät upean pyrstötähden Suomessa, eivät kuitenkaan nähneet Halleyta. Saman vuoden tammikuussa ilmestyi taivaalle "Suuri tammikuun komeetta 1910 I". Se oli poikkeuksellisen kirkas pyrstötähti, joka näkyi päivälläkin lähellä Aurinkoa. Sillä oli parhaimmillaan tammikuun lopussa yli 40 asteen pituinen pyrstö. Halley'n komeetta alkoi näkyä paljain silmin vasta myöhemmin keväällä, maaliskuun vaihteen tienoilla. Sitä voitiin tarkkailla paljain silmin kesäkuun puolivälin vaiheille asti. Loppukevällä Suomessa yöt ovat kuitenkin niin valoisia, että Halley'n komeetta ei meiltä katsottuna ollut lainkaan huomiota herättävä näky.

Tietolaatikko: Suuruusluokka eli magnitudi

Tähtien ja planeettojen kirkkaudet ilmoitetaan *suuruusluokissa*. Suuruusluokalle käytetään myös vierasperäistä nimeä *magnitudi*. Käsite on peräisin noin 2000 vuoden takaa, jolloin kirkkaimmat taivaan tähdet luokiteltiin 1. suuruusluokan tähdiksi ja heikoimmat paljain silmin näkyvät tähdet 6. suuruusluokan tähdiksi. Myöhemmin jouduttiin ottamaan käyttöön myös negatiiviset suuruusluokat, koska esimerkiksi planeetat ovat usein kirkkaampia kuin taivaan kiintotähdet. Esimerkiksi Venus on kirkkaimmillaan luokkaa -4 .

Toisaalta suuruusluokkia on jouduttu heikommassa päässä ottamaan yhä lisää, kun käyttöön on saatu yhä tehokkaampia kaukoputkia. Heikoimmat kohteet, jotka on saatu näkyviin maailman suurimmilla kaukoputkilla, ovat nykyään suuruusluokaltaan $24-25$.

Suuruusluokkakäsitteessä on huomattava, että *mitä suuremman* luokkaan tähti kuuluu, *sitä heikompi* se on, ja negatiiviset suuruusluokat viittaavat hyvin kirkkaisiin kohteisiin (esimerkiksi Auringon kirkkaus on noin -27). Suuruusluokka-asteikko muuttuu siten vastakkaiseen suuntaan kuin tavalliset mitta-asteikot.

Suuruusluokka on oikeastaan laaduton suure. Sanotaan että tähti kuuluu 4. suuruusluokkaan tai että tähden kirkkaus on 4. Joskus kirkkautta ilmoittavissa luvuissa käytetään laatuna ”magnitudia”. Esim. ”tähden kirkkaus on 4 magnitudia”. Lyhenteenä voi käyttää kirjaimia ”mag” (4 mag) tai, kuten vanhemmassa ja ammattikirjallisuudessa, m-kirjainta, joka on kirjoitettu numeron oikeaan yläkulmaan astemerkinnän tavoin (4^m).

”Suuruusluokan” tilalla näkee joskus käytettävän sanaa ”kirkkausluokka”. Tämä on kuitenkin väärin, sillä kirkkausluokka tarkoittaa tähtitieteessä muuta asiaa.

Havaittavan *näennäisen* suuruusluokan ohella puhutaan kohteiden ”todellisista” eli *absoluuttisista* suuruusluokista. Komeetoilla absoluuttinen magnitudi tarkoittaa sitä magnitudia, joka komeetalla olisi, kun se on 1 AU:n päässä Auringosta ja sitä tarkaillaan 1 AU:n päästä Maassa.

Aktiivinen ydin

Halley'n komeetta oli aktiivinen sekä vuonna 1835, jolloin Bessel havaitsi sen ytimestä suihkupurkauksia, että 1910, jolloin suihkuja ha-

Taulukko. Eri kohteiden suuruusluokkia.

Suuruusluokka (magnitudi)		Esimerkki
vain	-4	Venus kirkkaimmillaan
nämä	-3	
ja	-2	
kirkkaammat	-1	Taivaan kirkkain kiintotähti Sirius
kohteet	0	Lyyran tähdistön Vega
näkyvät	1	Härän tähdistön Aldebaran
paljain	2	Pohjantähti
silmin	3	Otavan heikoin tähti (kahvan tyvessä)
	4	Heikoimmat paljain silmin kaupunkioiloissa
	5	näkyvät kohteet
	6	Heikoimmat paljain silmin näkyvät kohteet
	7	
näihin	8	
tarvitaan	9	Näkyv vielä 7x50 kiikarilla
kiikari	10	
tai	11	Näkyv vielä 5 cm kaukoputkella
kaukoputki	12	
	13	
	14	Näkyv vielä 20 cm kaukoputkella
	15	
	16	
	17	Näkyv vielä 50 cm kaukoputkella
	18	
	19	
	20	
	21	
	22	
	23	
	24	Heikoimmat suurimmillakaan kaukoputkil-
	25	la kuvatut kohteet

vaittiin myös. Vuonna 1910 Halley'n ytimessä tapahtui mielenkiintoisia asioita. Huhtikuun 16. ja kesäkuun 4. päivän välillä pyrstötähdellä nähtiin kaksi tai useampia ytimiä tai tihentymiä. Pääytimen lisäksi

komeetalla näkyi silloin tällöin toinenkin ydin, joka päivän parin päästä häipyi.

Kesäkuun 2. päivänä 1910 komeetta näytti siltä, kuin se olisi ja-kaantunut kahdeksi komeetaksi, joilla kummallakin oli oma ydin. Tuona päivänä komeetta valokuvattiin Johannesburgista, ja kuvassa näkyi kolme ydintä. Kahden päivän päästä ei toisia ytimiä enää havaittu. Pääytimen ympärillä nähtiin kuitenkin pieniä sumutihentymiä, jotka liikkuvat pois päin pääytimestä. Kesäkuun 4. päivän jälkeen ei niitäkään enää nähty.

Koska muut ytimet eivät näkyneet kauan, ne olivat todennäköisesti pääytimestä irronneita pieniä kappaleita, joista kustakin jää höyrystyi muodostaen komean utumaisen kohteen. Pieni kappale höyrystyi sitten kokonaan Auringon lämmössä ja hävisi näkyvistä.

Halleyn komeetan ytimestä irtoaa jokaisella perihelikäynnillä erikokoisia kappaleita pölyn ja isojen jäämökkyjen väliltä. Kappaleet kulkevat lähes samaa rataa Auringon ympäri kuin itse ydinkin. Vähitellen aikojen kuluessa niitä on levittäytynyt pitkin Halleyn rataa.

Näitä pölyhiukkasia ja sitä suurempia kappaleita ei voi suoraan havaita, mutta kun Maa kohtaa Halleyn radan, pienet pöly- ja jäähiukkaset törmäävät ilmakehään ja me näemme ne nopeasti vilah-
tavina tähdenlentoina. Nykyään tiedetään, että Halleyn komeetta aiheuttaa kaksi vuosittain näkyvää tähdenlentoparvea, orionidit loka-kuun 20. päivän vaiheilla sekä eta akvaridit toukokuun 3. päivän vaiheilla. Molemmat tähdenlentoparvet on tunnettu noin vuodesta 500 jKr. asti. Niissä näkyy parhaimmillaan kolmisenkymmentä tähdenlentoa tunnissa. Saattaa olla, että aina Halleyn komeetan ollessa perihelinsä lähellä näissä parvissa tähdenlentojen määrä kasvaa reilusti.

Halleyn komeetan absoluuttinen kirkkaus pienenee ajan mukana. Tuhannessa vuodessa komeetta on heikentynyt 2.5 suuruusluokkaa.

Orionidien ja eta akvaridien tähdenlentoparvien radat Halleyn komeetan rataa verrattuna.

Näin on odotettavissa myös 1985 ja 86. Siksi em. öinä kannattaa kat-
sella taivaalle, jos sää vain sattuu olemaan selkeä.

Tutkimukset jatkuvat

Halleyn komeetasta on tehty runsaasti tutkimuksia vuoden 1910 vie-
railun jälkeen. Esimerkiksi Halleyn ytimen kiertoaika on arvioitu ha-
vaintojen perusteella. Tulokseksi on saatu, että ydin pyörittää kerran
akselinsa ympäri 10.3 tunnissa. Ytimen halkaisijaksi on arvioitu 3 –
5 km ja sen tiheydeksi 1 g/cm³ eli suunnilleen veden tiheys.

Viimeinen kuva Halleysta 30. 5. 1911 sen loitontuessa aurinkokunnan ulkosiini. Komeetta näkyy pienenä pisteenä nuolten välissä. (Kuva Lowell Observatory)

Tarkkoja laskuja on tehty varsinkin komeetan radasta. Vuosina 1910–12 teki 60 tähtitornia yhteensä 3085 paikkahavaintoa Halleysta katkeamattomana 20 kuukauden aikana. Näistä voidaan laskea tarkasti komeetan liikeyhtälö ottaen huomioon kaikkien planeettojen aiheuttamat gravitaatiohäiriöt. Näin saadaan Halley'n komeetan periheliajat ja rataelementit taaksepäin ja eteenpäin.

Kiinalainen Y. C. Chang on laskenut Halley'n radan viimeisen 3000 vuoden aikana. Planeettojen häiriöt aiheuttavat Halley'n komeetan kiertoaikaan muutoksia, siten että lyhin kiertoaika oli vuosina 762–689 eKr. eli 72.9 vuotta ja pisin 1222–1301 jKr. eli 79.7 vuotta. Myös muut rataelementit muuttuivat 3000 vuoden aikana. Inklinaatio pieneni 1.5° , perihelin argumentti muuttui 77° :sta 112° :seen ja nousevan solmun longitudi 18° :sta 58° :seen. Vielä tärkeämpi suure komeetan näkymisen kannalta on komeetan maksimikirkkaus. Se on muuttunut noin 2.7 suuruusluokkaa vuosituhannessa. Tulevan vuoden 1986 perihelin aikana Halley'n maksimikirkkaus on noin +0.5, kun 1057 eKr. se oli –7.7. Tuolloin komeetta oli kirkkaimmillaan kaikkia planeettoja kirkkaampi!

Chang kokosi täydellimmän Halley'n komeettaa käsittelevän historiallisten havaintojen luettelon. Hän tutki myös Kiinan tähtitor-

Taulukko. Halley'n komeetan periheliohitukset, joista on säilynyt havaintoja.

Havaittu maksimikirkkaus (magnitudia)	Vuosi	Missä ja miten näkyi
	–1058	havaittu Kiinassa
	–466	havaittu Kiinassa (epävarma)
	–239	havaittu Kiinassa idässä
	–162	havaittu Japanissa
	–86	havaittu elokuussa Neitsyen tähdistössä
	–11	havaittu Kiinassa ja Euroopassa, löydetty elokuussa Kaksosista. Komeetta on ollut hyvin kirkas, sillä se on näkynyt täysikuullakin.
	66	havaittu Kiinassa, löydetty Kauriista 31. 1. tai 20. 2.
	141	havaittu Kiinassa, löydetty 27. 3. Pegasukses-
	218	ta havaittu Kiinassa, löydetty huhtikuussa Härän tähdistöstä. Oli näkyvissä 20 päivää, ensin aamutaivaalla idässä, myöhemmin iltataivaalla lännessä.
	295	havaittu Kiinassa, löydetty 27. 3. Pegasuksesta
	374	Kiinalaisten mukaan löydetty tammikuussa Skorpionista
2–4	451	Havaittu Kiinassa ja Euroopassa. Löydetty 17. 5. Plejadeista Härän tähdistöstä.
	530	havaittu Kiinassa, löydetty syyskuussa Karhunvartijasta
	607	havaittu Kiinassa, löydetty 13. 3. Kaksosista
	684	havaittu Kiinassa. Tuona vuonna näkyi kaksi pyrstötähteä. Jälkimmäisen on oletettu olleen Halley ja sitä havaittiin syyskuusta alkaen 47 päivän ajan.
2	760	löydetty Kiinassa 16. 5. Oinaasta. Näkynyt 50 päivää.
0	837	havaittu ympäri maapalloa. Löydetty 22. 3. Vesimiehestä. Kiinalaiset havainneet komeettaa huhtikuun loppuun asti, eurooppalaiset toukokuun 7. päivään asti. Ohitti Maan hyvin läheltä, vain 6 miljoonan kilometrin päästä (alle 16 Kuun etäisyyden päästä 11. 4.). 14. 5. pyrstön pituus oli 80° .
2–3	912	havaittu Kiinassa, Japanissa ja Euroopassa. Löydetty 13. 5. Vesikäärmeestä.
0–1	989	havaittu Kiinassa ja Euroopassa. Löydetty 13. 8. Kaksosista. Näkyi aamulla koillisessa, myöhemmin illalla luoteessa. Väri oli sinertävänvalkoinen ja pyrstö pitkä. Hävisi 12. 9. Neitsyessä.

-3--4	1066	havaittu Kiinassa 2. 4. lähtien. Tuolloin komeetta oli Pegasuksessa. Havaintoja myös Euroopasta. Komeetta loisti yhtä kirkkaasti kuin Venus ja näkyi täydenkuun aikanakin.
	1145	havaittu Kiinassa, Japanissa ja Euroopassa. Löydetty Euroopassa 15. 4., Kiinassa 26. 4. Toukokuun puolivälissä sillä oli ollut valtava 40 jalkaa pitkä pyrstö (tarkoittaa noin 90°) ja komeetta oli Orionin tähdistössä.
	1222	Löydetty Kiinassa ja Euroopassa 15. 9. Vaa'an tähdistöstä.
2	1301	Löydetty Euroopassa 1. 9. ja Kiinassa 16. 9. Näkynyt lokakuun loppuun. Pyrstö ollut yli 10° pitkä.
1-2	1378	havaittu Kiinassa. Löydetty 26. 9. Ajomiehes-tä, jolloin komeetalla oli noin 20° pyrstö.
0-1	1456	löydetty Kiinassa 27. 5. Kärpäsen tähdistöstä (Musca). Kesäkuun alussa komeetta oli 34° asteen päässä Auringosta ja ydin loisti kuin kirkas tähti. Tämä on ollut edullisimpia havaituista periheliohituksista. Pyrstöä komeetalla oli yli 20°.
	1531	Havaittu Euroopassa heinäkuun lopussa, näkyi syyskuun 3. päivään asti. Pyrstön pituus oli elokuun puolivälissä 15°. Havaittu Kiinassa 34 päivää elo-syyskuussa.
1	1607	Löydetty Kiinassa 21. 9. Kaksosista ja havaittu lokakuun 12. päivään asti. Kepler havainnut komeettaa Prahassa. Pyrstön pituus ollut 10°.
2	1682	Picard ja La Hire löysivät komeetan paljain silmin 26. 8. ja Flamsteed 30. 8. Komeetta oli näkynyt Etelä-Ranskassa jo 23. 8. sekä Englannissa 25. 8. Tyypin I pyrstö näkyi 30° pituisena.
0-1	1759	Ensimmäinen ennustettu löytö. Palitsch löysi komeetan 25. 12. 1758 Dresdenissä 8 jalan kaukoputkella. Messier löysi komeetan Pariisissa 27. 1. 1759. Komeetta näkyi helmikuun puoliväliin, jolloin se katosi iltahämäänsä. Perihelin jälkeen Messier löysi sen 1. 4. aamuhämärältä taivaalta läheltä horisonttia. Tuolloin sillä oli 25° pyrstö. Havaittu ympäri maapalloa. Näkyi paljain silmin vielä kesäkuun alussa. Viimeinen havainto 22. 6.
1	1835	Löydetty 5. 8. Härästä. Löytäjinä de Vico ja Dumouchel. W. Struwe Dorpatista löysi komeetan riippumattomasti 20. 8. sekä useat muut tähtitornit 20.-30. 8. Lokakuun puolivälissä sillä oli 20° suora pyrstö ja marraskuun loppupuolella se hävisi Auringon lähei-

0	1910	syyteen. Komeetta löydettiin taas 25. 1. 1836 ja sitä havaittiin keväällä vielä 5. 5. asti. Kolmas Halley'n komeetan ennustettu ja edeltäkäs laskettu löytö. Wolf löysi Heidelbergin tähtitornista kuvatusta valokuvauslevystä komeetan 11. 9. 1909 Kaksosista, läheltä gamma-tähteä. Myöhemmin komeetta löydettiin myös 24. 8. Helwanissa ja 9. 9. Greenwichissä kuvatuista valokuvauslevyistä. Tuolloin oli komeetan kirkkaus 16 magnitudia. Ensimmäisen kerran Barnham näki komeetan visuaalisesti 15. 9. Yerkesin tähtitornin 40 tuuman linssikaukoputkella (noin 1 m). Havaittiin vuoden 1911 huhtikuuhun asti.
	1986	löydettiin 16. 10. 1982 Palomarin 5.1 m peili-teleskoopilla.

nien havaintoja ja löysi prinssi Huai Nanin sotilaallista strategiaa käsittelevästä kirjasta mielenkiintoisen maininnan. Siinä kerrottiin, kuinka pyrstötähti oli näkynyt idässä ja sen pyrstö oli osoittanut luoteeseen silloin kun hallitsija Wu oli marssinut Yinin Zhouta vastaan. Kirjaan on merkitty myös Jupiterin sijainti samaan aikaan.

Historia tuntee vain kolme mahdollista ajankohtaa Wun taistelulle: 1122, 1075 – 1055 tai 1027 eKr. Kun tiedetään, että tapahtuma oli kahtena ensimmäisenä kuukautena talvipäivänseisauksen jälkeen, päätteli Chang, että komeettahavainnot on täytynyt tehdä talvella 1058 – 1057 eKr. Tähän aikaan on Halley'n komeetta ollut perihelisään ja juuri siinä osassa taivasta, johon havainnot viittaavat. Chang on sitä mieltä, että Halley-havainnot on saatu ulotetuksi vuoteen 1057 eKr. asti ja että komeetan tuleva vierailu on jo 41. periheliohitus ensimmäisen säilyneen havainnon jälkeen.

Halley'n ratalaskujen perusteella on jopa etsitty uutta planeettaa Pluton takaa. Vuonna 1966 Joseph Brady ja Edna Carpenter laskivat ja julkaisivat Halley'n pyrstötähden uuden radan. Viisi vuotta myöhemmin he julkaisivat parannetun radan vuoden 1986 ohitusta varten, ja tuolloin he seurasivat komeetan liikettä taaksepäin vuoteen 295 jKr. asti. He havaitsivat eroja laskettujen ja havaittujen paikkojen välillä siten, että rata muuttui noin 500 vuoden jaksoissa. Brady arveli tämän johtuneen tuntemattomasta planeetasta. Hän jopa laski uuden planeetan radan, massan ja kirkkaudenkin sekä laski, mistä sen pitäisi löytyä. Uutta planeettaa etsittiin, mutta mitään ei löytynyt.

4. Encken komeetta

Halley'n komeetan jälkeen ehkä tunnetuin pyrstötähti kantaa Encken nimeä. Encken komeetasta on tehty havaintoja 1700-luvulta alkaen.

Neljä pyrstötähteä

Ranskalainen Pierre Méchain löysi uuden pyrstötähden tammikuun 17. päivänä 1786. Se näkyi tuolloin paljain silmin. Toisen kerran pyrstötähti nähtiin kaksi päivää myöhemmin. Tuolloin sitä havaitsi Méchainin lisäksi kuuluisa ranskalainen komeettojenetsijä Messier. Kaukoputken läpi komeetta näkyi hienosti, sillä oli kirkas ydin ja himmeä pyrstö.

Herschelin kuuluisaan sukuun kuuluva Williamin tytär Caroline löysi 50 jalkaa pitkällä peilikaukoputkella uuden komeetan marraskuun 7. päivänä 1795. Marraskuun puolivälissä pyrstötähti nähtiin myös useissa muissa Euroopan tähtitorneissa. Isä William oli merkinnyt muistiinpanoihinsa pyrstötähden näkyneen paljain silmin. Sen kirkkaus löytöhetkellä oli ollut arviolta 5–6 magnitudia. Komeetta oli 14. 11. suunnilleen yhtä kirkas kuin Andromedan sumu. Pyrstötähdestä tehtiin havaintoja 29. 11. saakka.

Lokakuun 19. päivänä 1805 löydettiin jälleen uusi komeetta, tällä kertaa useassa eri paikassa samana yönä: Marseillessa, Frankfurt an der Oderissa sekä Pariisissa. Kolme päivää myöhemmin pyrstötähti oli kirkkaudeltaan ja kooltaan jälleen Andromedan sumun kaltainen. Loka – marraskuun vaihteessa sen kirkkaus oli 4 ja sillä oli kolmen asteen pituinen pyrstö. Pyrstötähti näkyi Kuun valossa ja hämäränkin aikana. Yhteensä siitä tehtiin havaintoja kuukauden päivät.

Pons löysi 28. 11. 1818 Marseillessa Pegasuksen tähdistöstä pyrstötähden, jonka kirkkaus oli 8. Kuukauden kuluttua komeetta näkyi jo paljain silmin. Tammikuun 5. päivänä seuraavana vuonna saksalainen Johann Encke ilmoitti, että komeetalla oli kirkas ydin ja vain hyvin hento pyrstö. Se vastasi kirkkaudeltaan pallomaista tähtijoukkoa Messier 2 (6.5 mag). Komeettaa havaittiin viimeisen kerran täydenkuun vaiheilla 12. 1. 1819.

Kitt Peakin 4 metrin peilikaukoputkella otettu kuva Encken komeetasta vuonna 1980. Kuva on selvyiden vuoksi painettu negatiivina. (Kuva H. Spinrad, J. Stauffer ja Kitt Peak National Observatory)

Encken ratalaskut

Toki vuosina 1786–1818 oli löytynyt ja näkynyt muitakin komeettoja, erittäin kirkkaitakin, joilla oli ollut pitkä ja näyttävä pyrstö. Tuohon ajanjaksoon mahtuu peräti nelisenkymmentä komeettaa. Mitä erikoista sitten edellisessä neljän varsin vaatimattomasti näkyneen komeetan joukossa on? Johann Franz Encke alkoi tutkia em. komeettoja tarkemmin, sillä mikään paraabelirata ei tuntunut sopivan niistä tehtyihin havaintoihin. Hyvin pian Encke huomasi, että kyseessä on yksi ja sama pyrstötähti, joka liikkui varsin epätavallista elliptistä rataa pitkin. Encke sai komeetan kiertoajaksi vain 3.3 vuotta. Hän julkaisi ratalaskunsa 1822. Lähimpänä Aurinkoa ollessaan oli pyrstötähden etäisyys siitä 0.34 AU ja kauimpana Auringosta vain 4.08 AU. Pyrstötähden rata oli siis kokonaan Jupiterin radan sisäpuolella! Ratalaskuissa Encke käytti Carl Friedrich Gaussin (1777–1865) kehittämää radanlaskumenetelmää, jonka Gauss oli julkaissut vuonna 1809. Sen avulla saatiin kaikki kuusi rataelementtiä lasketuksi kolmesta paikkahavainnosta.

Encken laskujen mukaan komeetan piti tulla näkyviin jälleen 1822. Australialainen Dunlop etsi pyrstötähteä Encken laskemasta paikasta ja löysikin sen 2. päivänä kesäkuuta. Viimeiset havainnot Enckestä tehtiin kesäkuun 29. päivänä. Kirkkaimmillaan oli pyrstötähti näkynyt taas paljain silmin. Encken komeetta oli siten toinen pyrstötähti, jonka paluu ennustettiin ratalaskuihin perustuen.

Komeetan himmeneminen

Encken pyrstötähti kiertää yhä Aurinkoa, ja se on siitä erikoinen pyrstötähti, että sitä voidaan suurilla kaukoputkilla havaita ja valokuvata ratansa joka pisteessä. Nykyään Encke on himmentynyt niin paljon, että se ei enää näy kirkkaimmillaankaan paljain silmin. Himmeneminen on vuodesta 1786 lähtien nelisen suuruusluokkaa. Jokaisella kierroksella Auringon lähellä ollessaan pyrstötähden ydin menettää materiaa pyrstön muodostumisessa, ja seuraavalla kerralla se on taas hieman himmeämpi. Vuoteen 1981 mennessä Enckea oli havaittu 52 kertaa perihelinsä vaiheilla, enemmän kuin yhtäkään muuta komeettaa.

Encken valokäyrässä on havaittu myös omituisuuksia. Jos komeetan absoluuttinen kirkkaus piirretään ajan funktiona komeetan perihelin vaiheilla, saadaan yleensä enemmän tai vähemmän symmetrinen kuvaaja perihelihetken suhteen, tai sitten komeetta himmenee hitaammin kuin se on kirkastunut. Enckellä on havaittu 11 periheli-ohituksen aikana tehtyjen tarkkojen mittausten perusteella outo epäsymmetrisyys. Encke himmenee perihelin jälkeen paljon nopeammin

Encke himmenee perihelin jälkeen paljon nopeammin kuin kirkastuu ennen periheliä (yhtenäinen viiva). Katkoviivalla on esitetty normaali käyttäytyminen.

kuin se on kirkastunut ennen periheliä. 50 päivää ennen periheliä se on 3 suuruusluokkaa (16 kertaa) kirkkaampi kuin 50 päivää perihelin jälkeen. (Kuvaajassa käytetty absoluuttinen suuruusluokka on se kirkkaus, joka komeetalla olisi, jos se olisi yhden tähtitieteellisen yksikön päässä sekä Auringosta että Maasta ($r = \Delta = 1 \text{ AU}$).)

Kiertoajan lyheneminen

Vuonna 1838 Encken komeetan paluun yhteydessä ilmeni eräs ongelma. Encke oli aavistellut jo jonkin aikaa, että komeetan kiertoaika lyheni kiihtyvällä nopeudella. Peräkkäisillä kerroilla komeetta tuli periheliinsä ennemmin kuin oli ennustettu, usein yli kaksi tuntia aikaisemmin, mutta aika vaihteli hiukan. Tähän etsittiin selitystä. Encke itse ehdotti, että avaruudessa on ainetta, joka vastustaa komeettojen liikettä. Tällöin komeetan pitäisi olla spiraaliradalla, ja se törmäisi ennemmin tai myöhemmin Aurinkoon. Vastustava aine voisi olla meteorihiukkasia, joiden vaikutuksesta kiertoaika lyhenisi. Toisena selityksenä arveltiin vastustavan aineen olevan maailmaneeetteriä, jota arveltiin tarvittavan väliaineena, jotta valo voisi edetä muuten tyhjiössä avaruudessa.

Oikean selityksen kiertoajan lyhenemiselle keksi F. W. Bessel (1784–1846). Hän oli havainnut pari vuotta aikaisemmin Halley'n komeetassa Aurinkoon päin olevan materiasuihkun, joka muistutti raketin suihkua. Hän ajatteli, että komeetan materiasuihkut voisivat

vaikuttaa sen kiertoaikaan. Suihkun suunnasta riippuen ne voivat kasvattaa tai lyhentää kiertoaikaa. Molempia tapauksia onkin myöhemmin havaittu.

Vaikka Encken aikoihin pyrstötähden kiertoaika lyheni kierros kierrokselta, 1860-luvulla huomattiin, että nopeus, jolla Encken kiertoaika oli aikaisemmin lyhentynyt, olikin kummallisesti pienentynyt. Nykyään Encken komeetan kiertoaika lyhenee enää vain viitisen minuuttia kierrosta kohti.

Pyörivä lumipallo

1950-luvulla huomattiin useilla muillakin pyrstötähdillä olevan puhtaasta gravitaatioliikkeestä poikkeava liike. Joillakin kiertoaika ly-

Tietolaatikko: Komeettojen nimeäminen

Kun taivaalta löytyy uusi pyrstötähti, sille annetaan heti väliaikainen merkintä, esim. 1975j. Tässä on aluksi löytövuosi ja sitten kirjain, joka ilmoittaa, monesko kyseisenä vuonna havaittu pyrstötähti se on (tässä tapauksessa kymmenes).

Varsinaisen nimensä komeetta saa löytäjien mukaan. Nimessä on yhdestä kolmeen henkilönnimeä, jotka ovat toisistaan riippumatta ensimmäisinä ilmoittaneet löytönsä Kansainvälisen tähtitieteellisen unionin IAU:n sähkökeskukseen Cambridgeen, Yhdysvaltain Massachusettsin osavaltioon. 1975j-pyrstötähden havaitsi samana yönä kolme japanilaista harrastajaa, ja se sai nimen *Mori-Sato-Fujikawa*.

Jos kyseessä on lyhytjaksoinen komeetta, voidaan nimen edessä käyttää kirjainta P, esim. P/Stephan-Oterma (P = periodic = jaksollinen). Lyhytjaksoisten komeettojen seuraavilla perihelikäynnneillä eivät uudet löytäjät yleensä saa enää omaa nimeään komeetan nimeen.

Vuosi tai pari löydön jälkeen selviää, missä järjestyksessä kyseisen vuoden komeetat ovat ohittaneet perihelinsä. Tällöin komeetta saa lopullisen merkintänsä, jota lyhyiden vuoksi käytetään usein esim. taulukoissa. Mori-Sato-Fujikawa sai merkinnän 1975 XII, eli se oli kahdestoista komeetta, joka ohitti perihelinsä vuonna 1975.

Nykyään komeetat nimetään vain löytäjiensä mukaan. Aikaisemmin komeetoille saatettiin antaa sellaisen henkilön nimi, joka merkittävällä tavalla oli vaikuttanut kyseisen komeetan tutkimiseen. Näin on nimetty esimerkiksi Halley'n, Encken ja Lexellin pyrstötähdet.

heni kuten Enckellä, joillakin taas piteni. Mm. Halley'n pyrstötähti palaa noin neljä päivää laskettua myöhemmin kultakin noin 76 vuoden kierrokseltaan.

Näihin aikoihin amerikkalainen Fred Whipple alkoi kehittää komeettateoriaansa. Hän arveli komeetan ytimen olevan "likainen lumipallo" eli että ydin koostuu lumesta, pölystä, kivistä ym. Jos tällainen lumipallo vielä pyörii akselinsa ympäri, on sillä auringonpuolella päivä, toisella puolella yö. Komeetan ollessa lähellä Aurinkoa päiväpuolella oleva lumi ja jää höyrystyy paljon nopeammin kuin yöpuolella, jossa niillä on lähellä absoluuttista nollapistettä oleva avaruuden kylmyys. Aamulla jää alkaa lämmetä auringonpaisteessa ja läm-

Encken komeetan kiertoajan muutokset Whiplen ja Sekaninan mukaan. Ytimen pyöriessä suihkuvoimat ovat hidastuttaneet komeetan kiertoaikaa aikaisemmin muutaman tunnin, nykyään ei juuri lainkaan. Pienet pisteet ovat ekstrapoloitteja.

Encken komeetta 29. 10. 1914 Yerkesin observatorion kuvaamana. Kuva on pitkään valotettaessa seurattu komeettaa, jolloin tähdet ovat piirtäneet filmille viivoja.

pimimmillään kukin paikka on komeetan iltapäivällä (kuten ilma meillä maapallollakin). Kun komeetasta höyrystyy jäätä ja lunta, ne muodostavat vesihöyrysuihkun ulospäin, ja tämä työntää komeetan ydintä päinvastaiseen suuntaan kuin missä lämpimin paikka on. Eniten kaasua ei poistukaan suoraan Auringon suuntaan kuten pyörimättömän ytimen tapauksessa.

Jos pyrstötähden ydin pyörii vastakkaiseen suuntaan kuin se kiertää Aurinkoa, työntyy komeetan iltapäiväsuihku komeetan rataliikettä vastaan hidastaen sen ratanopeutta ja pienentäen hieman rataa. Sitten komeetta tulee periheliinsä aina hieman aikaisemmin. Päinvastaisessa tapauksessa komeetan suihku on hieman rataliikkeen suuntaisen kiihdyttäen ratanopeutta. Tällöin komeetan rata suurenee ja sen periheliin tulo myöhästyy.

Brian G. Marsden ja Zdenek Sekanina Smithsonian Astrophysical Observatorysta ja Donald Yeomans Jet Propulsion Laboratorysta ovat laskeneet yli kolmellekymmenelle pyrstötähdelle kiertoaikojen muutokset. Noin puolella olisi Encken kaltainen vastakkainen pyörimissuunta, puolella taas myötäinen. Mutta miksi Encken komeetan

kiertoajan muutos pienenee 200 vuodessa yli 2 tunnista muutamaan minuuttiin? Ja miksi suurin muutos oli 1810 ja alkoi sitten pienetä?

Encken pyörähdysakselin suunta

Ensin arveltiin, että suihkuvoima heikkenee ajan mukana, kun komeetta kierros kierrokselta menettää massaansa. Tämä ei kuitenkaan pysty selittämään Encken käyttäytymistä. Sekanina sai uuden ajatuksen. Ehkäpä pyrstötähden ytimen pyörähdysakseli muuttuu ajan kuluessa. Niinpä Sekanina alkoi miettiä, miten saisi Encken pyörähdysakselin suunnan määrättyksi. On todella aikamoinen tempu määrätä kilometrin luokkaa olevan komeetan ytimen kiertoakselin suunta, koska ydin on aina suunnattoman suuren valaisevan kaasun ja auriongonvaloa heijastavan pölyn sisällä, eikä kukaan ole koskaan nähnyt komeetan paljasta ydintä. Kuitenkin Sekanina keräsi tiedot eri henkilöiden havaitsemista suihkumaisista purkauksista sekä ytimestä Aurinkoon päin lähtevistä viuhkamaisista suihkuista ja laski niistä tietokoneella mahdolliset pyörähdysakselin suunnat.

Laskujen mukaan Encken kiertoakseli oli 1947 noin 5° kulmassa komeetan ratatasoon nähden. Perihelissä akseli oli 25° kulmassa Aurinko-komeetta-suoraan nähden. Komeetan suihkuaktiivisuus oli suurimmillaan 45° kulmassa Aurinko-komeetta-akseliin nähden. Komeetan purkaussuihkuaktiivisuus vaihtelee erittäin paljon sekä määrässä että suihkun suunnassa komeetan kulkiessa radallaan.

Epäsymmetrinen ydin

Pyörimisakselin muutokset selittivät hyvin komeetan kiertoaikojen muutokset, mutta millä voitaisiin selittää valokäyrän epätavallisuus. Sekanina ja Whipple olettivat, että Encken ydin ei olisikaan pyöreä vaan litistynyt pallo. Havaittujen suihkujen perusteella pyrstötähden toinen pallonpuolisko on paljon aktiivisempi kuin toinen. Kun Aurinko paistaa suoraan komeetan aktiivisemmalle navalle ennen periheliä, on komeetta noin kolme kertaa kirkkaampi kuin Auringon paistaessa vastakkaiselle navalle perihelin jälkeen. Komeetta lienee siten pölyisempi ja kivisempi toiselta puoleltaan ja jäisempi aktiivisemmalta puoleltaan.

Whipple ja Sekanina ovat selittäneet epäsymmetrisyyden synnyn seuraavasti. Auringon lähellä ollessaan pyrstötähdet puhaltavat kaasua, pölyä ja isompiakin kivenkappaleita avaruuteen. Vaikka komeetan ydin onkin pieni, vain kilometrin luokkaa, on silläkin vetovoima. Siten pyrstötähdestä lähtee Auringon puolelta sellaisiakin kappaleita, joilla on pakonopeutta pienempi nopeus komeetan ytimeen nähden.

Tällaiset kappaleet palaavat jossain vaiheessa takaisin komeetan pinnalle. Jos komeetan toinen puoli on, komeetan ollessa Auringon lähellä, aina pois päin Auringosta, kerääntyy pöly ja kiviaines vähitellen juuri tälle puoliskolle. Se muodostaa sinne lämpöä eristävän kerroksen, joka pienentää suuresti kyseisen puoliskon aktiivisuutta.

Näin voisi olla Enckenkin tapauksessa, sillä sen pyörimisakseli on osoittanut pitkään lähes ratansa ison akselin suuntaan. Siten sen suurin massanmenetys on tapahtunut aktiivisemmalla pallonpuoliskolla. Tämä ainakin selittäisi kirkkaushavaintojen omituisuuden. Varmennus tästäkin saadaan vasta kun komeetan ydintä lähetetään tutki- maan avaruusluotain.

Encken ytimen koko

Kuinka suuri Encken ydin on? Pyrstötähti ei ole koskaan tullut riittävän lähelle Maata, jotta tähtitieteilijät olisivat voineet suoraan mitata sen läpimitan. Siitä voidaan saada tietoa vain epäsuorasti. Kun pyrstötähti on riittävän kaukana Auringosta, ei sillä ole ytimen ympärillä valoa säteilevää eikä heijastavaa komaa. Niinpä Encken kirkkaus on mitattu lähellä komeetan apheliä, ja jos ydin heijastaisi valoa kuten valkea lumi, saataisiin sen läpimitaksi noin 1 km. Jos se heijastaisi valoa yhtä huonosti kuin Kuu (eli n. 7 %), olisi sen halkaisija kol- misen kilometriä.

Reaktiivoimien synty. Auringon paistaessa komeetan ytimeen sieltä höyrystyy kaasuja. Jos ydin pyörii, höyrystyy kaasuja eniten iltopäivällä. Tämä suihkuaktiivisuus aiheuttaa vastakkaisuuntaisen voiman, joka kuvan tapauksessa lisää ytimen nopeutta ja kasvattaa kiertoaikaa Auringon ympäri.

Koska Encken heijastuskykyä ei tunneta, voidaan käyttää mui- takin keinoja ytimen koon arvioimiseksi. Ranskalaiset tutkijat J. L. Bertaux ja J. E. Blamart ovat käyttäneet arvioimiseen pyrstötähden massanmenetystä. He päätyivät tulokseen, että yhdellä kierroksella Encke menettää materiaa 6.5×10^8 kg (eli 650 000 tonnia). Mikäli komeetan ytimen tiheys olisi n. 1 g/cm^3 eli suunnilleen veden tiheys, voidaan havaituista suihkupurkauksista laskea ytimelle halkaisija. Ranskalaistutkijat saivat tuloksen, että ydin on suurempi kuin 1.2 ki- lometriä. Komeetan pölymäärän menetyksestä laskivat Sekanina ja H. E. Shuster komeetan ytimen halkaisijaksi alle 2.6 km.

Encken ytimen läpimitta lieene siten kahden kilometrin luokkaa. Sen voi tällöin laskea heijastavan noin 25 % siihen osuvasta auringon- valosta. Se ei ole lumivalkoinen eikä tumma kuin Kuu, vaan likaisen- harmaa, likaisen lumipallon tapainen, kuten Whipple on ehdottanut. Kullakin kierroksella ytimen säde pienenee vain noin 16 cm. Löytö- vuodesta 1786 lähtien sen halkaisija on pienentynyt 13 metriä. Yti- men pyörimisnopeus on voitu laskea myös havainnoista. Encken ydin pyörii kertaalleen ympäri noin kuudessa ja puolessa tunnissa.

5. Kreutzin ryhmä

Yksi mielenkiintoinen komeettaryhmä on ns. Aurinkoa hipovat komeetat eli Kreutzin komeetat. Ne ovat komeettoja, joiden perihelietaisyys on hyvin pieni, useimmilla alle 0.01 AU (alle 1.5 miljoonaa kilometriä). Jos tarkastellaan kaikkien pyrstötähtien rataelementtejä perihelijärjestyksessä eli siinä järjestyksessä, miten läheltä komeetat ovat ohittaneet Auringon, löytyvät nämä Aurinkoa hipovat komeetat helposti.

Oheisen taulukon kymmenestä ensimmäisestä komeetasta yhdeksällä on hyvin toistensa kaltaiset rataelementit. Näiden jälkeen seuraavien perihelietaisyydet ovat jo huomattavasti suuremmat ja niiden elementit poikkeavat selvästi sekä toisistaan että ensimmäisten eli Kreutzin ryhmän komeettojen elementeistä. Taas 22. komeetalla on samankaltaiset elementit kuin alkupään yhdeksällä komeetalla. Sillä on tosin reilusti suurempi perihelietaisyys, peräti 0.067 AU. Kaikilla näillä Kreutzin ryhmän komeetoilla rata on paraabeli tai hyvin lähellä paraabelia.

Epäilemättä mainitut kymmenen komeettaa, jotka on havaittu 1668 sekä 1843 – 1979, kuuluvat samaan ryhmään. Useat niistä ovat olleet todella hienoja ja kirkkaita. Niille on usein annettu nimet niiden näkymisajan tai -paikan perusteella kuten Suuri maaliskuun komeetta tai Suuri eteläinen komeetta.

Puolen taivaan mittainen pyrstö

Varhaisin Kreutzin ryhmän komeetoista oli vuoden 1668 komeetta. Se löydettiin varsinaisesti Lissabonissa Portugalissa sekä Brasiliassa 5. 3. 1668, vaikka se oli nähty mm. Hyväntoivonniemellä jo 3. 3. ja Keski-Euroopassa 4. 3. Maaliskuun 9. päivänä sillä oli yli 30° pituinen pyrstö. Tähtitieteilijä Estangel on tästä komeetasta maininnut, että sen pyrstö osoitti täsmälleen Auringosta pois päin. Maaliskuun jälkeen komeettaa ei enää nähty.

Toiseksi löydetty Kreutzin komeettaryhmän jäsen 1843 I oli kenties komein ryhmän komeetoista. Se löydettiin 5. 2., kolme viikkoa ennen periheliä. Aurinkoa lähestyessään komeetta ja sen ydin kirkas-

Komein viimeaikainen auringonhipoja Ikeya-Sekin komeetta kuvattuna 29. 10. 1965 Lickin observatoriossa.

Taulukko. Aurinkoa vuoden 1980 loppuun mennessä lähinnä käyneet komeetat. Ensimmäisessä sarakkeessa on perihelihetki (T), toisessa kiertoaika (P), sitten perihelietäisyys (q) tähtitieteellisinä yksikköinä, eksentrisyys (e), perihelin argumentti (Peri.), nousevan solmun pituus (Node), kaltevuus (Incl.) ja periheli-suunnan pituus (L) ja leveys (B). (Taulukko Marsdenin luettelosta Catalogue of Cometary Orbits, IAU 1982)

T	P	q	e	Peri.	Node	Incl.	L	B
1979.66		0.002	1.0	72.1	350.1	142.7	282.2	+35.2
1887.03		0.005	1.0	83.5	3.9	144.4	281.9	+35.4
1963.64	903	0.005	1.000	86.2	7.2	144.6	282.0	+35.3
1880.07		0.005	1.0	86.2	7.1	144.7	281.7	+35.3
1843.16	513	0.006	1.000	82.6	2.8	144.3	281.9	+35.3
1680.97		0.006	1.000	350.6	275.9	60.7	271.3	-8.2
1945.99		0.008	1.0	72.1	350.5	141.9	282.9	+36.0
1882.71	759	0.008	1.000	69.6	347.0	142.0	282.2	+35.2
1965.80	880	0.008	1.000	69.1	346.3	141.9	282.3	+35.2
1970.37		0.009	1.0	61.3	336.3	139.1	282.3	+35.1
1865.04		0.026	1.0	111.7	254.1	92.5	80.4	+68.1
1826.88		0.027	1.0	279.6	236.9	90.6	240.6	-80.4
1962.25		0.031	1.000	11.5	304.0	65.0	308.9	+10.4
1961.54		0.040	1.000	270.7	298.2	24.2	209.0	-24.2
1695.81		0.042	1.0	59.1	285.3	93.6	279.3	+58.9
1847.24		0.043	1.000	254.4	23.1	48.7	270.1	-46.3
1874.19		0.045	1.0	269.5	31.4	58.9	300.4	-58.9
1816.17		0.049	1.0	304.3	325.1	43.1	278.2	-34.4
1882.44		0.061	1.000	209.0	205.9	73.8	34.7	-27.7
1689.92		0.064	1.0	78.1	283.1	63.2	348.1	+60.9
1970.13		0.066	1.0	266.6	29.9	100.2	138.2	-79.3
1668.16		0.067	1.0	109.8	2.5	144.4	248.6	+33.2
1954.07		0.072	1.0	94.1	114.6	13.6	208.7	+13.5
1931.65		0.075	0.999	168.1	101.5	169.3	293.2	+2.2
1593.55		0.089	1.0	12.1	169.2	87.9	169.7	+12.1
1821.22		0.092	1.0	169.2	50.5	106.5	233.6	+10.3
1780.75		0.099	1.0	237.8	126.5	126.2	263.4	-43.1
1665.31		0.106	1.0	156.1	232.0	103.9	58.1	+23.2
1947.92		0.110	1.000	196.2	336.6	138.5	144.4	-10.6
1147.09		0.120	1.0	300	281	110	311	-54

tuivat, ja kirkkaimmillaan komeetan ydin näkyi päivälläkin tähtimäisenä muutaman asteen päässä Auringosta. Sen kirkkaus on tuolloin ollut $-6 \dots -8$ magnitudia. Kun komeetta tuli maaliskuun alussa paremmin näkyviin, sillä nähtiin jopa 70° pituinen pyrstö (siis lähes puolen taivaan pituinen) ja sen ydin oli vielä 8. 3. Jupiteriakin kirkkaampi. Myöskään täysikuu ei paljon himmentänyt komeetan loistoa, sillä puolivälissä maaliskuuta sillä nähtiin Euroopassa vielä 40° pyrstö. Sitten komeetan ydin heikkeni vaatimattomaksi komeaan ja kirkkaaseen pyrstöön nähden. Huhtikuun puolivälin jälkeen komeetasta nähtiin vielä heikko läikkä Amerikassa. Sitten se katosi. Taulukosta nähdään, että 1843 I:n rataelementit ovat hyvin lähellä komeetan 1668 elementtejä.

Kolme komeettaa 1880-luvulla

Vuoden 1880 pyrstötähden pyrstön nähtiin nousevan horisontin takaa koko eteläisellä pallonpuoliskolla 31. 1. – 1. 2. välisenä yönä. Seuraavanakin yönä komeetan ydin oli horisontin alapuolella, mutta sen pyrstö näkyi komeasti yli 30° pituisena horisontista ylöspäin. Kun 1880 I:n pää nähtiin ensi kerran 4. 2., ei sillä havaittu lainkaan ydintä! Pisimmillään pyrstö oli seuraavana päivänä, jolloin se oli 50° pitkä ja $1-1.5^\circ$ leveä. Tämän komeetan radan laski saksalainen Kreutz. Hän huomasi, että rata oli samankaltainen kuin vuosina 1843 ja 1668 näkyneiden komeettojen rata. Niinpä näitä hieman omituisia Aurinkoa hipovia komeettoja alettiin nimittää hänen mukaansa.

Vain kaksi vuotta ehti kulua vuoden 1880 pyrstötähdestä, kun italialaiset merimiehet 1. 9. 1882 löysivät Uuden-Seelannin läheltä myös Kreutzin ryhmään kuuluvan komeetan. (Ei ollut ihme, että merimiehet sen löysivät, sillä noina aikoina merenkulkijat tunsivat tähtitaivaan lähes yhtä hyvin kuin tähtitieteilijät.) Komeetta kirkastui periheliä kohti niin, että siitä saattoi tehdä havaintoja ja mittauksia päivälläkin. Perihelissä komeetan ydin oli selvästi Venus-planeettaa kirkkaampi. Niinpä tuo pyrstötähti näkyikin paljain silmin maaliskuun alkupuolelle 1883 asti. Siitä voitiin tehdä havaintoja pääasiassa eteläiseltä pallonpuoliskolta. Tällä komeetalla oli ydin selvästi keltai-

Syyskuun suuri komeetta 1882 näkyi komeasti ennen aamun valkenemistä lokakuun alkuviiakoilla. (Camille Flammarionin piirros)

nen. Syyskuun 1882 lopussa havaittiin, että ydin oli hajonnut useaan, jopa kahdeksaan osaan. Hajoaminen oli tapahtunut vain pari viikkoa periheliohituksen jälkeen.

Vuoden 1882 komeetalla oli parhaimmillaan 3 pyrstöä (tyypit I ja II, ks. luku Komeettojen rakenne), joista pisin oli 30° . Myös anomaalinen vastapyrstö (tyypin III pyrstö) nähtiin komeetalla lokakuun puolivälissä. Pyrstöistä tehtiin myös mittauksia. Tyypin I pyrstön havaittiin liikkuvan nopeudella 6 km/s komeetasta poispäin. Komeetasta saatiin myös hyviä spektrikuvia, joissa näkyi mm. natriumin viivoja. Kaiken kaikkiaan vuoden 1882 komeetta oli 1800-luvun komeimpia pyrstötähtiä ja ehkä kaikkien aikojen kirkkain pyrstötähti.

Seuraava Kreutzin ryhmän komeetta 1887 I löydettiin 18. 1. 1887. Se nähtiin mm. Etelä-Afrikassa Kapkaupungin lähellä. Komeetan periheli oli ollut jo viikkoa aikaisemmin. Löytöhetkellä sillä oli jo noin 40° pituinen ja Kuun levyinen hopeanvalkea pyrstö. Ydintä sillä ei näkynyt lainkaan, ei edes tiivistymää oletetun ytimen kohdalla. Vielä 24. 1. sillä oli yli 40° pituinen pyrstö, mutta jo seuraavana päivänä se oli paljon vaisumpi. Tammikuun 30. siitä nähtiin hento pyrstönpätkä, mutta 1. 2. komeettaa ei enää näkynyt.

Viisi komeettaa 1900-luvulla

Kesti lähes 60 vuotta ennen kuin näkyviin tuli seuraava Kreutzin komeetta. 1945 VII eli komeetta du Toit oli löytöhetkellä joulukuun 11. päivänä Etelän Kolmiossa. Se liikkui nopeasti Aurinkoa kohti, ja Cunninghamin laskujen mukaan komeetan piti olla 28. 12. komeasti näkyvissä lähellä Aurinkoa. Komeetta kuitenkin heikkeni ja heikkeni, ja joulukuun 15. päivän jälkeen sitä ei nähnyt enää kukaan. Sen veran havaintoja komeetasta kuitenkin saatiin, että sen rata voitiin laskea ja se voitiin todeta Kreutzin ryhmään kuuluvaksi.

Seuraavat Kreutzin ryhmän komeetat nähtiin 1960-luvulla. Pereyran komeetta löytyi syyskuussa 1963 Córdobaan observatoriossa ja Ikeya-Sekin komeetta syyskuussa 1965 Japanissa. Kumpikin oli löytöhetkellä Vesikäärmeen tähdistössä.

Pereyran komeetta oli löytöhetkellä jo melko heikko (suuruusluokkaa 2) ja sillä oli 12° pituinen pyrstö, ja se heikkeni edelleen nopeasti. Komeetta oli ollut perihelissä jo elokuun lopulla. Havaintoja Pereyrasta tehtiin joulukuun puoliväliin asti.

Ikeya-Seki oli sen sijaan hyvin kirkas ja laajalti nähty pyrstötähti. Sitä tutkittiin tarkemmin kuin ainoatakaan aikaisempaa Kreutzin ryhmän jäsentä. Komeetan löytäjät K. Ikeya ja T. Seki olivat japanilaisia tähtiharrastajia. Komeetta oli löytöhetkellä melko heikko (magnitudi 8), mutta kirkastui nopeasti. Kun komeetta ehti periheliin lo-

Ikeya-Sekin komeetta lähestyy Aurinkoa. (Kuvat Norikura Solar Observatory, Tokyo Astronomical Observatory)

kakuun 21. päivänä, se näkyi kirkkaasti päivälläkin. Parina seuraavana viikkona Ikeya-Seki oli komea näky aamutaivaalla. Sen pyrstöllä oli pituutta ehkä 30° . Marraskuun alussa komeetan ytimen huomattiin haljenneen kahteen osaan. Halkeaminen oli tapahtunut kaksi päivää perihelin jälkeen. Ikeya-Sekista tehtiin havaintoja vielä kaksi viikkoa vuodenvaihteen jälkeen, jolloin sen todettiin nopeasti himmenevän.

Toukokuun 18. päivänä 1970 löysi 22-vuotias australialainen opiskelija Graeme White kirkkaan komeetan vain 12° päässä Auringosta. Komeetasta näkyi iltahämärässä lyhyt pyrstö. Kahden päivän kuluttua White näki komeetalla jo 10 asteen pituisen pyrstön. Komeetan toinen löytäjä oli Malagasyn lentoperämies Emilio Ortiz, joka kertoi löytäneensä 1. suuruusluokan komeetan 21. 5. Air Francen 707-koneesta Intian valtameren yllä. Komeetan pyrstö oli viiden asteen pituinen. Kolmas komeetan riippumaton löytäjä oli Cerro Tololon observatorion yöpäivystäjä Carlos Bolelli Chilessä. Hän ei nähnyt komeetan päätä, joka oli jo laskenut, mutta pitkä pyrstö sojotti horisontista ylöspäin. Näin komeetta sai nimen White-Ortiz-Bolelli. Se osoittautui Auringon hipojaksi, joka oli ollut perihelissä 14. 5. Komeetta heikkeni nopeasti perihelin jälkeen.

Tekokuu löytää komeettoja

Yhteensä oli vuosina 1668–1970 havaittu yhdeksän Kreutzin ryhmän Aurinkoa hipovaa komeettaa, yksi 1600-luvulla, neljä 1800-luvulla ja neljä 1900-luvulla. Sitten alkoi avaruusaika, ja satelliitteja ja luotaimia lähetettiin avaruuteen tutkimaan mm. Aurinkoa ja tähtiä. Amerikkalainen maatakiertävä sotilaallinen satelliitti P78-1 eli Solwind, jossa oli Yhdysvaltain Naval Research Laboratoryn rakentama Aurinkoa tutkiva koronagrafi, laukaistiin radalleen maaliskuussa 1979. Koronagrafi on kuvannut Auringon kaasukehää eli koronaa 10 minuutin välein, kun satelliitti on ollut auringonpaisteessa. Osan ajasta se on Maan varjossa. Itse Auringon kirkas kiekko on peitetty levyllä, ettei hentorakenteinen korona häviäisi Auringon kirkkauteen.

Elokuun 30. päivänä 1979 otetuissa koronakuvissa nähtiin jotain hyvin epätavallista. Tuona päivänä kello 21 Suomen aikaa koronagrafin kentän reunalle, kuuden auringonsäteen päähän Auringon keskipisteestä länsilounaaseen, ilmestyi kirkas läiskä, kirkkaampi kuin Venus. Pian huomattiin, että kohde oli komeetta, joka lähestyi Aurinkoa. Sillä oli kirkas pyrstö Auringosta poispäin. Seuraavan kahden ja puolen tunnin aikana koronagrafin kuvissa näkyi, kuinka komeetta liikkui nopeasti Aurinkoa kohti, ja klo 23.15 se saavutti Aurinkoa peittävän levyn, jonka taakse se katosi. Pyrstö sen sijaan näkyi vielä useita tunteja ytimen kadottua levyn taakse. Jonkin ajan kuluttua hentoa hohdetta ilmaantui Auringon pohjoisreunalle, mutta pian sekin hävisi. Komeetasta ei näkynyt sen jälkeen mitään.

Törmäsi komeetta Aurinkoon vai haihtuiko se Auringon läheisyydessä? Komeetasta saatiin 2.5 tunnin ajalta tarkkoja paikkoja, joista voidaan arvioida komeetan rata. Brian Marsden oletti, että komeetalla oli paraabelirata, että se oli todella lähellä Aurinkoa eikä vain samalla näkösaiteella jossain kaukana Auringosta ja että se liikkui päinvastaiseen suuntaan kuin planeetat. Muussa tapauksessa se olisi voinut löytyä kirkkaana kohteena yötaivaalta ennen periheliä. Ratalaskut antoivat komeetan perihelietäisyydeksi 0.35 Auringon sädettä, joten komeetta on periheliä lähestyessään ilmeisesti törmännyt Aurinkoon.

Kreutzin ryhmän komeetoille tyypilliset rataelementit sopivat varsin hyvin tälle törmäilijälle, joka nykyään tunnetaan komeetta Howard-Koomen-Michels 1979 XI:na. Sen elementeiksi Marsdenin tekemin oletuksin on saatu oheisessa taulukossa olevat arvot.

Kaksi uutta törmääjää

Vain toista vuotta tästä tapahtumasta kului, kun jo taas kuului kumia. Samainen satelliitti P78-1 oli löytänyt 26. 1. 1981 sekä 20. 7. 1981

kaksi samantapaista komeettaa, jotka myös ”törmäsivät” Aurinkoon, sillä kummastakaan ei tullut Auringon takaa esiin yhtään mitään.

Tammikuun tapauksessa kirkas komeetta, jolla oli hento pyrstö, lähestyi Aurinkoa kaakosta. Komeetan nopeus oli yli 250 km/s, ja sen kirkkaudessa tapahtui varsin lyhyenä aikana selviä muutoksia. Komeetta himmeni tasaisesti kolmen tunnin ajan, jonka jälkeen se kirkastui huomattavasti. Tällöin se oli vain muutaman auringonsäteen päässä Auringosta. Tutkijat uskovat, että kirkastuminen oli todellista, vaikka koronagrafissa onkin suodin, joka läpäisee valoa sitä vähemmän mitä lähemmäksi Aurinkoa katsotaan. Siten komeetan pään kirkkaudeksi on arvioitu 0 magnitudia kahdeksan Auringon säteen päässä, 1.0 viiden ja puolen ja lopuksi –2.5 kolmen Auringon säteen päässä Auringon keskipisteestä. Tämäkin komeetta katosi Auringon kohdalla jäljettömiin. Se törmäsi Aurinkoon tai ytimen osaset haihtuivat kuin tuhka tuuleen – tai lumipallo aurinkotuuleen. Jäljelle saattoi jäädä vain joukko kivenpalasia, jotka eivät näy kuvassa. Havainnoista Marsden sai perihelietäisyydeksi 1.05 Auringon sädettä, eli komeetta olisi ohittanut Auringon sen pintaa hipoen, ellei kuumuus olisi hajottanut ydintä.

Heinäkuun komeetta oli kirkkaudeltaan edellistä suurempi. Viidentoista P78-1-tekokuun antaman kuvan perusteella Sheeley laski kollegojensa kanssa komeetan radan olettaen sen liikkeen retrogradiseksi. Hän sai perihelietäisyydeksi 1.2 Auringon sädettä. Marsden sai omista laskuistaan perihelietäisyydeksi 0.9 Auringon sädettä (siis hiukan Auringon pinnan alla). Tästäkään komeetasta ei nähty mitään jälkeä, kun se oli kadonnut Aurinkoa peittävän kiekon taakse, ei edes

Taulukko. Kreutzin ryhmän komeettojen rataelementit (ks. tietolaatikko rataelementeistä, luku 8). L ja B ovat perihelisuunnan pituus- ja leveysaste.

Nimi	tunnus	q	ω	Ω	i	P	L	B
	1668	0.067 AU	109.8°	2.5°	144.4°	—	248.6°	33.2°
Suuri maaliskuun komeetta	1843 I	0.006	82.6	2.8	144.3	513 v	281.9	35.3
Suuri eteläinen komeetta	1880 I	0.005	86.2	7.1	144.7	—	281.7	35.3
Suuri syyskuun komeetta	1882 II	0.008	69.6	347.0	142.0	759	282.2	35.2
Suuri eteläinen komeetta	1887 I	0.005	83.5	3.9	144.4	—	281.9	35.4
du Toit	1945 VII	0.008	72.1	350.5	141.9	—	282.9	36.0
Pereyra	1963 V	0.005	86.2	7.2	144.6	903	282.0	35.3
Ikeya-Seki	1965 VIII	0.008	69.1	346.3	141.9	880	282.3	35.2
White-Ortiz-Bolelli	1970 VI	0.009	61.3	336.3	139.1	—	282.3	35.1
Howard-Koomen-Michels	1979 XI	0.002	72.1	350.1	142.7	—	282.2	35.2
Solwind 2	1981 I	0.005	72.0	350.0	142.7	—	—	—
Solwind 3	1981 XIII	0.004	73.7	352.2	143.2	—	—	—

Uusimmat auringonhipojat ovat löytyneet P78-1-tekokuun kuvista. Vasemmalla Howard-Koomen-Michels lähestyy Aurinkoa (yläkuva) ja jättää törmäyksessä jälkeensä vain hohtavan pilven. Toisissa kuvissa on Solwind 2 (keskikuvat) ja Solwind 3 (oikealla) -komeettojen törmäykset. Alimmissa kuvissa on nuolilla merkitty ne alueet, joissa komeetan olisi pitänyt ilmestyä näkyviin Auringon takaa. Jälkeäkään niistä ei kuitenkaan havaittu. (Kuvat Naval Research Laboratory)

pyrstön rippeitä. Va n Auringon koronan aktiivisuus kasvoi siinä alueessa, josta komeetan olisi pitänyt ilmestyä esiin. Törmäsikö tämäkin komeetta Aurinkoon? Ehkä.

Useita komeettoja jäänyt näkemättä

Outoa on, että maapallolta löydettiin kolmessa vuosisadassa kahdeksan Kreutzin ryhmän komeettaa, ja maaliskuun 1979 jälkeen 500 päivän aikana on löydetty kolme muuta auringonhipojaa. Yhtään näistä kolmesta komeetasta ei nähty tai löydetty maapallolta. Tulevatko Kreutzin komeetat ryhmissä (kuten 1880 I ja 1882 II), vai miksi niitä nyt on löydetty niin monta niin lyhyessä ajassa? Ilmeisesti Kreutzin pyrstötähdistä ei Maassa löydetä kuin vain kirkkaimmat. Ehkä nytkin on Aurinkoa lähestymässä ryhmän komeetta, jota kukaan ei ole

löytänyt eikä tule ehkä löytämäänäkään. Tammikuun 1981 komeetan olisi hyvin voinut löytää joku harrastaja, sillä se oli ollut hyvässä asemassa taivaalla tammikuun alkupuolella. Sen sijaan vuoden 1979 elokuun ja 1981 heinäkuun komeetat ovat olleet Aurinkoon nähden epäedullisessa asemassa ja siten näkymättömissä. Varmasti useita muitakin komeettoja on jäänyt näkemättä, vaikka ne ovatkin kiertäneet Auringon ja poistuneet taas takaisin aurinkokunnan laitamille tai peräti sen ulkopuolelle.

Mistä Kreutzin komeetat ovat peräisin

Amerikkalainen Brian Marsden on tutkinut Kreutzin ryhmän komeettojen alkuperää. Ei voi olla pelkkä sattuma, että näin suuri määrä pyrstötähtiä kulkee lähes täsmälleen samanlaisilla radoilla. Komeettojen täytyy jollakin tavalla liittyä toisiinsa.

Marsden kiinnittää huomiota siihen, että komeetat näyttävät esiintyvän ryhmissä. Ensimmäinen ryhmä näkyi 1600-luvun lopulla, toinen 1843 – 87 ja kolmas 1945 – 65. (Marsden julkaisi tutkimuksensa 1967, jolloin vuosien 1979 – 81 komeetat olivat vasta kaukana lähestymässä Aurinkoa.) Varmoina pidettyjen Kreutzin komeettojen lisäksi on nähty useita muita, huonommin havaittuja pyrstötähtiä, jotka nekin voivat kuulua samaan ryhmään. Tällaisia on esiintynyt vuosina 1689, 1695, 1702 ja 1882. Kolme ensinmainittua sopivat hyvin Marsdenin ensimmäiseen ryhmään ja viimeinen keskimmäiseen ryhmään.

Marsden pystyy laskemaan kahden parhaiten havaitun komeetan, 1882 I ja 1965 VIII (Ikeya-Seki), rataa taaksepäin ottaen huomioon kaikkien planeettojen häiriöt. Ratalaskut antavat tulokseksi, että kumpikin komeetta on ollut perihelissään 1100-luvun alkuvuosina. Marsden muistuttaa mieleen, että vuonna 1106 nähtiin kirkas komeetta Auringon lähellä, ja päättlee, että 1882 I ja 1965 VIII syntyivät tämän komeetan hajoamisesta perihelinsä lähellä.

Muutkin Kreutzin komeetat ovat ilmeisesti syntyneet emäkomeetan hajoamisesta. Marsden arvelee, että alun perin ryhmässä on ollut vain yksi suuri Aurinkoa hipova pyrstötähti, jonka kiertoaika on ollut ehkä 1000 vuoden luokkaa. Auringon ohituksissa komeetta on hajonnut ensin kolmeen osaan, joista sitten myöhemmissä hajoamisissa on muodostunut havaitut kolme Kreutzin komeettaryhmää.

Auringonhipojille on esitetty muitakin selityksiä kuin Marsdenin hajoamisajatus. Jos komeettoja katsotaan syntyvän Lyttletonin ehdottamalla kerääntymismekanismilla (ks. luku komeettojen alkupe-
räästä), muodostuu auringonhipojia jatkuvasti Auringon kulkiessa tähtienvälisten pölypilvien läpi.

6. Biela ja Kohoutek

Bielan pyrstötähdellä on varsin mielenkiintoinen historia. Alkujaan komeetan löysi Montaigne 8. 3. 1772 Limoginissa. Messier sai myös kuulla tästä komeetasta ja hän etsi sitä maaliskuun 15. päivänä, muttei löytänyt sitä. Vasta 26. 3. hän näki kohteen utuisena läikkänä. Se oli kaukoputkella vaikeasti havaittava kuuttomaltakaan taivaalta. Huhtikuun 4. päivänä siitä tehtiin viimeinen havainto.

Toisen kerran samainen komeetta löydettiin 10. 11. 1805. Löytäjä oli tällöin Pons Marseillessa. Hänestä riippumattomasti sen löysivät myös Bouvard Pariisissa 14. 11. ja Huth Frankfurt an der Oderissa 22. 11. Löytöhetkellä tai pian sen jälkeen komeetta oli kirkas, koska useat tähtitieteilijät löysivät sen toisistaan riippumattomasti. Komeetta oli lähimmillään Maata (n. 7 milj. km päässä) joulukuun 8. päivänä, jolloin se näkyi diffuusina yli 3. suuruusluokan kohteena hyvin paljainkin silmin. Komeettaa havaittiin joulukuun puoliväliin asti, jolloin se siirtyi eteläiselle taivaalle.

Mm. Bessel laski pyrstötähden radan ellipsiksi ja sitä arveltiin samaksi komeetaksi kuin Montaignen keksimä, mutta tuloksista ei uskallettu ennustaa, milloin pyrstötähti palaisi seuraavan kerran.

Upseerin havainto

Itävaltalainen upseeri Biela löysi Josephstadtissa Böömissä 27. 2. 1826 Oinaan tähdistöä pienen pyöreän komeetan, jolla oli tähtimäinen ydin. Maaliskuun alussa komeetta kirkastui 6–7. suuruusluokkaan, ja Marseillessa sen löysi riippumattomasti Gambert 9. 3. 1826. Maaliskuun puolivälissä komeetalla näkyi pieni pyrstö, jopa kirkkaassa kuutamossa. Havaintoja komeetasta voitiin tehdä toukokuun alkuun asti. Biela ja Gambert laskivat molemmat pyrstötähden radan, ja jo ensimmäiset laskelmat osoittivat, että tämä oli sama kuin vuosien 1806 ja 1772 pyrstötähdet. Laskujen mukaan komeetan kiertoaika oli vain vajaat 7 vuotta, mutta sitä ei näin lyhyin väliajoin voitu havaita, koska se oli usein varsin epäedullisessa asemassa Maahan nähden.

Esimerkiksi seuraavalla kierroksella komeetta oli perihelissä

Kohoutekin komeetta tammikuun 12. päivänä 1974. Kuvassa näkyy hyvin plasmapyrstön yksityiskohtia ja pyrstön mutkaisuus. (Kuva Hale Observatories)

1832, jolloin siitä tehtiin vain parikymmentä havaintoa. Vuoden 1839 perihelin vaiheilla komeettaa ei havaittu lainkaan sen epäedullisen aseman vuoksi.

Santinin laskujen mukaan Bielan komeetan piti tulla periheliin taas 11. 2. 1846. DeVico löysikin sen Roomassa marraskuun lopulla 1845 Pegasuksen tähdistöstä. Myös Galle löysi Berliinissä kaksi päivää myöhemmin tuon 10–11. suuruusluokkaa olevan ututäplän, jolla oli melko kirkas pistemäinen ydin. Pyrstötähti liikkui kaakkoon päin Kaloihin ja edelleen Valaan tähdistöön.

Komeetta hajoaa

Biela kirkastui vuoden 1845 loppua kohti. Tammikuun 13. päivänä 1846 Moury Washingtonissa huomasi heikon seuralaisen 1–2 kaariminuuttia pääkomeetasta pohjoiseen. Pyrstötähti oli jakautunut kahteen osaan! Seuraavana päivänä kummallakin osalla oli pyrstö, joka osoitti koilliseen. Emo oli kolme neljä kertaa kirkkaampi kuin poikanen. Tämä komeetan kahtiajakautuminen havaittiin monissa tähtitorneissa ympäri maailmaa.

Helmikuun 14. päivänä oli heikompi pohjoinen osa kirkastunut eteläistä osaa kirkkaammaksi. Neljä päivää myöhemmin pääkomeetta oli taas kirkkaampi ja suurempi. Välillä valkoinen emokomeetta oli kirkkaampi, välillä punertava pienokainen, ja mm. 22. 2. pienokaiselle oli vajaan asteen pituisen pääpyrstön lisäksi syntynyt kaksi muuta pyrstöä. Jälleen 26. 2. oli emokomeetta kirkkaampi, ja maaliskuun aikana pienokainen himmeni nopeasti. Maaliskuun 3. päivänä oli pie-

Bielan komeetta kahtiajakautuneena helmikuussa 1846.

nokaisen kirkkaus enää kolmasosa ja 10. päivänä kahdestoistaosa emokomeetan kirkkaudesta. Maaliskuun 17. päivänä pienempi osa oli jo erittäin himmeä ja monissakaan observatorioissa sitä ei havaittu 21. päivän jälkeen. Tuolloin emokomeetta näkyi vielä hyvin ja sillä oli kaksi pyrstöä. Emokomeetasta tehtiin havaintoja huhtikuun lopulle 1846 asti.

Emo- ja pienokaiskomeetan näennäinen etäisyys kasvoi maaliskuun loppupuolelle mennessä 14 kaariminuuttiin. Todellinen etäisyys vaihteli helmi – maaliskuussa vain vähän, ja se oli noin 40 Maan sädettä eli noin 250 000 km. Bielan seuraavaa ilmestymistä jäätiti nyt jännittyneinä odottamaan.

Viimeinen ilmestyminen

Secchi löysi elokuun 26. päivän aamuna 1852 Bielan komeetan Roomassa varsin kaukana etukäteen lasketusta paikasta. Kohde löytyi Kaksosten tähdistöstä ja se oli pienikokoinen. Toinen komponentti, tuo pienokainen, löytyi vasta 15. 9. Se liikkui pääkomeetan edellä ja sen pohjoispuolella. Pääkomeetta oli 7–8. suuruusluokkaa ja se näytti epäsäännölliseltä. Sen keskusta oli kirkas, mutta ydintä sillä ei näkynyt. Kuten 1846, nytkin komponenttien kirkkaudet vaihtelivat. Vuoroin oli pohjoinen pienokainen kirkkaampi, vuoroin eteläinen emokomeetta. Pulkovan observatoriossa Otto Struve teki kummatakin osasta tarkkoja havaintoja 40 cm linssikaukoputkella syyskuun 18. ja 28. välisenä aikana. Viimeiset havainnot komeetasta ovat syys-

Bielan komeettaparin viimeinen periheliohitus. Piirros on tehty syyskuussa 1852. Sen jälkeen komeetta katosi, eikä sitä ole myöhemmin havaittu.

kuun 29. päivältä 1852. Tällöin ytimien välimatka oli kasvanut yli 2.4 miljoonaksi kilometriksi.

Bielan pyrstötähden olisi pitänyt tulla näkyviin taas perihelinsä vaiheilla 1859, 1865 ja 1872. Ensimmäisellä kerralla komeetta oli niin epäedullisessa asemassa, ettei sitä olisi voitu nähdä. Kirkkaimmillaan ollessaan komeetta oli alle 30° päässä Auringosta, sen eteläpuolella. Myöskään vuonna 1865 komeettaa ei nähty, vaikka se marras – joulukuussa oli melko lähellä Maata ja sen olisi pitänyt olla jopa paljain silmin havaittavissa hyvin edullisessa asemassa. Myöskään 1872 perihelin vaiheilla komeettaa ei nähty lainkaan, eikä sen jälkeenkään. Komeetta todennäköisesti hajosi useaan pieneen osaan, joista kukin kiertää edelleenkin omaa rataansa Auringon ympäri.

Bielan jäänteitä tähdenlentoina

Onko Bielan komeetta kadonnut täysin? Ei, sillä sen rippeitä on nähty ja nähdään edelleenkin. Bielan rata oli lähimmillään Maata marraskuun lopulla. Marraskuun 27. päivänä 1872 nähtiin ilmakehässä komea tähtisade (runsaasti tähdenlentoja). Samoin kävi vuoden 1885 marraskuussa ja vuonna 1892, jolloin Bielan olisi pitänyt taas olla perihelin lähellä. Bielan komeetta hajosi siten pieniksi osiksi, joita silloin tällöin iskeytyy ilmakehään aiheuttaen tähdenlennon.

Vielä nykyäänkin tunnetaan Bielan komeetan aiheuttama meteoriparvi, bielidit tai nykyisin sen tähtikuvion perusteella annettu nimi, jossa ko. parven säteilypiste on, andromedidit. Parven maksimi on 16. – 17. marraskuuta, mutta andromedideja esiintyy 6. 11. – 1. 12. välisenä aikana. Bielan komeetasta nähdään siis vieläkin jälkiä, mutta vain vilauksina.

Bielan pyrstötähti ei ollut ensimmäinen, jonka oli havaittu jakautuvan kahteen osaan. Samanlainen komeetan hajoaminen oli havaittu monilla muillakin pyrstötähdillä (ks. luku 9: Komeetan rakenne). Myös 1970-luvun hienoin pyrstötähti West 1975 hajosi ainakin neljään osaan. Useat tähtitieteenharrastajat näkivät ytimen osia kaukoputkillaan.

Bielaa etsimässä

Mikään ei tietenkään estä etsimästä Bielan komeetan osia vielä nykyäänkin. Saattaa olla, että jokin riittävän suuri osa siitä on säilynyt ja kiertää edelleen Aurinkoa lähes samaa rataa kuin toistasataa vuotta sitten.

Niinpä tšekkiläinen tähtitieteilijä Lubos Kohoutek etsi lokakuussa 1971 Hampurin observatoriossa suurella Schmidt-kameralla Bielan komeettaa. Sitä ei kuitenkaan löytynyt. Sen sijaan Kohoutek löysi

Kohoutekin komeetta lähestymässä Aurinkoa huhtikuussa 1973. Tuolloin siitä odotettiin vielä "suurempaa ja kirkkaampaa kuin kuuluisa Halley'n komeetta".

noin 50 uutta pikkuplaneettaa. Keväällä 1973 Kohoutek rupesi havaitsemaan uudelleen muutamia löytämistään pikkuplaneetoista. Samalla hän löysi kaksi uutta komeettaa, helmikuun lopussa komeetan 1973e ja kahdeksan päivää myöhemmin toisen komeetan 1973f. Kohoutek 1973e jäi heikoksi komeetaksi ja pääsi luetteloihin nimellä Kohoutek 1973 VII. Sen maksimikirkkaus oli vain 13 magnitudia, ja sitä havaittiin kahdeksan kuukauden ajan. Tavallisten harrastajakaukoputkien ulottumattomissa se kiersi hentona pyrstöttömänä utupilona Auringon ja katosi taas avaruuteen.

Kohukomeetta

Jälkimmäisen pyrstötähden, komeetta Kohoutek 1973f:n kirkkaus oli löytöhetkellä 16, siis noin kymmenesosa Pluton kirkkaudesta. Kohoutek 1973f liikkui taivaalla varsin hitaasti. Siitä voitiin päätellä, että se oli vielä melko kaukana Auringosta. Viikon parin sisällä löydöstä komeetasta saatiin riittävästi tarkkoja havaintoja, jotta sen alustava rata voitiin laskea. Radan laskemista auttoi se, että Kohoutek oli itse kuvannut sattumalta komeetan jo tammikuun 28. päivänä, siis puolitoista kuukautta ennen löytöä.

Löytöhetkellä maaliskuussa komeetta oli 4.75 AU:n päässä Auringosta (lähes Jupiterin radan etäisyydellä). Ratalaskujen mukaan Kohoutekin piti olla lähimpänä Aurinkoa aivan joulukuun lopussa,

jolloin sen etäisyys Auringosta olisi vain 0.14 AU. Nyt arveltiin tästä komeetasta tulevan kirkkain aikoihin. Se näkyisi eteläisellä pallonpuoliskolla ennen joulua hyvin ja pohjoisella pallonpuoliskolla upeasti tammikuussa 1974.

Komeetan lähestymistä kohti Aurinkoa seurattiin eri observatorioissa maailmalla maalisi- ja huhtikuussa 1973. Toukokuussa komeetta katosi Auringon läheisyyteen, ja sen piti ilmestyä taas syyskuun lopussa pimeälle aamutaivaalle näkyviin. Keväällä 1973 arveltiin Kohoutekin saavuttavan $-3 \dots -10$. magnitudin maksimikirkkauden. (Venuksen suuruusluokka on kirkkaimmillaan -4.6 .) Jos jälkimmäinen arvio osoittautuisi oikeaksi, näkyisi komeetta päivänvalossa paljain silmin kuten suuret komeetat vuonna 1843 ja 1882. Tammikuun 15. päivänä 1974 Kohoutek näkyisi komeasti Vesimiehen tähdistössä, ja tuolloin sillä olisi 40° pituinen pyrstö. Vielä helmikuun puolivälissä se näkyisi paljain silmin Oinaassa.

26 NOV 15 SEC

11 DEC 15 SEC

5 DEC 15 SEC

25 DEC ON EVA 2 1/2 SEC

Skylabin Kohoutekista kaukaisessa ultraviolettivalossa ottamia kuvia. Kuvista nähdään kuinka komeetan vetyhalo kasvaa ajan mukana.

Komeetta Kohoutek 1. 12. 1973 (yläkuva) ja 15. 1. 1974 (alla). Jälkimmäisessä kuvassa näkyy kirkkaassa plasmapyrstössä poimuja ja solmuja. Pölypyrstö on odotettua heikompi, ja siksi Kohoutek ei ollut niin kirkas kuin ennustettiin. (Kuva Hale Observatories)

Komeettaa valmistauduttiin havaitsemaan, kuvaamaan ja tutkimaan kaikkialla. Näin hienoa komeettaa ei ollut näkynyt aikoihin. Myös amerikkalaisen avaruuslaboratorion kolmas miehistö olisi tuolloin Skylabissa tutkimassa komeettaa avaruudesta. Odotukset olivat todella korkealla.

Kohoutekista tehdyt kirkkausennusteet on piirretty yhtenäisellä viivalla. Niistä ylempi on optimistisempi ennuste. Katkoviivalla on piirretty ytimen kirkkaus. Vielä ennen periheliä havainnot noudattivat alemmää yhtenäistä viivaa, mutta perihelin vaiheilla ja sen jälkeen Kohoutek oli selvästi odotettua himmeämpi.

Kirkkausarvioita muutetaan

Toukokuun 5. päivänä 1973 Kohoutek sai Hampurissa komeetastaan viimeisen kuvan ennen sen katoamista lähes viideksi kuukaudeksi päivänvaloon ja Auringon suuntaan. Uudelleen Kohoutek löydettiin Japanissa syyskuun 23. päivänä. Tsutomu Seki Kochin observatoriosta valokuvasi sen 22 cm peilikaukoputkella. Komeetan kirkkaus oli 10.5 ja se näkyi utumaisena. Komeetta oli kirkastunut suunnilleen ennustetusti, mutta maksimikirkkaudeksi arvioitiin nyt enää korkeintaan -4 eli Venuksen luokkaa.

Brian Marsden arvioi maksimikirkkaudeksi -3.6 magnitudia käyttämällä samaa kirkkauskäyrää kuin 1970 keväällä näkyneelle kirkkaalle Bennettin komeetalle. Bennettissä oli varsin suuri määrä pölyä ja siten kirkas pölypyrstö. Jos kuitenkin 1973f olisi "uusi komeetta", joka tulee Auringon läheisyyteen ensimmäistä kertaa, pitäisi Marsdenin mukaan kirkkaudelle käyttää toisenlaista kaavaa, jolla saataisiin maksimikirkkaudeksi -1.9 suuruusluokkaa. Tämä vastaa Jupiterin suurinta kirkkautta. Harvardin observatoriossa W. Liller ennusti, että Kohoutekille tulisi 50 miljoonan kilometrin pituinen pyrstö. Maasta nähtynä pyrstö olisi komeimmillaan tammikuun 11.

päivän paikkeilla, jolloin sen pituus olisi 20 astetta. Lillerin arvion mukaan olisi komeetan kirkkaus tammikuun 7. päivänä -1 , jolloin komeetta olisi alle asteen päässä Venus-planeetasta.

Nopea himmeneminen

Joulukuun alkuun asti Kohoutek kirkastui lähes odotetusti. Maksimissa kirkkaus oli $-2 \dots -3$ magnitudia. Mutta pian perihelin jäl-

Kohoutek kuvattuna Suomesta 11. 1. 1974 sekä valokuvasta tehty ekvidensiittikuva. Komeetta kirkastuu ydintä kohti, ja negatiivin tietty tummuusväli on ekvidensiittikuvassa saatu joko mustaksi tai valkoiseksi. Kuvakentän poikki on valotuksen aikana lentänyt lentokone, joka jätti negatiiville pilkkuviivan. (Kuva Kari Kaila)

keen komeetta heikkeni useita suuruusluokkia ennustettua himmeämmäksi. Suurelle yleisölle siitä ei tullutkaan keväällä 1973 mainostettua "vuosisadan komeettaa", joka näkyisi keskellä päivääkin. Kohoutekin tapauksessa nähtiin jälleen kerran, miten vaikeaa pyrstötähtien kirkkauden ennustaminen on.

Eteläisessä Suomessa sää oli tammikuun alussa huono, ja kun Kohoutek sitten ensi kertaa näkyi 10. 1., sen kirkkauden olisi pitänyt olla 1. magnitudin luokkaa. Kirkkaus oli kuitenkin n. 4. Parhaimmillaan 10. 1. komeetasta näkyi Suomessa paljain silmin noin 8 asteen pituinen hento pyrstö. Tammikuun puolivälin jälkeen komeettaa ei enää näkynyt paljain silmin. Vaikka suuri yleisö ja harrastajat pettyivät komeetan heikkoon kirkkauteen, tuli Kohoutekista ehkä laajimmin tähän mennessä tutkittu komeetta, ja ammattitähdistieteilijät olivat halloissaan saamastaan mittaust materiaalista.

Tutkimuksia maasta ja avaruudesta

Suurilla Schmidt-kameroilla otetuissa valokuvissa näkyi Kohoutekilla peräti 25 asteen pituinen kaasupyrstö tammikuun puolivälissä. Samalla näkyi pölypyrstöä kymmenkunta astetta. Tammikuun 15. päivänä komeetalla havaittiin vajaan puolen asteen pituinen vastapyrstö, siis Aurinkoa kohti näkyvä pyrstö.

Kohoutekia tutkittiin infrapunateleskoopeilla ja radioteleskoopeilla. Siitä löydettiin mm. hydroksyylimolekyylejä (OH) ja metyyli-
syanidimolekyylejä (CH_3CN), joita on löydetty myös tähtienvälisestä

Skylab-astronauttien piirros Kohoutekista ja sen vastapyrstöstä 30. 12. 1973, kaksi päivää periheliin jälkeen.

avaruudesta. Skylabista Kohoutekia havaitsivat astronautit E. G. Gibson ja G. P. Carr vuodenvaihteen vaiheilla. He näkivät komeetalla hyvin kirkkaan oranssin ytimen.

Tammikuun alussa komeettaa tutkittiin raketeilla ultraviolettissa valossa, ja Kohoutekin ympärillä havaittiin laaja vetyhalo. Halo ulottui neljän asteen päähän komeetan ytimeistä. Vetykehän havaitsi myös Mariner 10 -avaruusalus. Radioteleskoopeilla mitattiin Länsi-Virginiassa komeetan ytimen kooksi alle 3 kaarisekuntia.

Vaikka Kohoutek oli visuaalisesti huono komeetta, se oli tiedemiehille pitkstä aikaa suuri komeetta, jonka tulosta tiedettiin 9 kuukautta aikaisemmin. Kohoutekin rataelementeistä voitiin laskea, että se palaa kenties 75 000 vuoden kuluttua uudelleen Auringon lähelle.

Taulukko. Hienoimpia komeettoja kautta aikojen.

371 eKr.	Aristoteles havaitsi 60° pyrstön ja Ephoros näki komeetan jakautuvan kahtia. Osat on yhdistetty 1843 I ja 1880 I komeettoihin.
178 jKr.	Kiinassa havaittu komeetta, jolla oli 50–60° pyrstö. Näkyi 80 päivää paljain silmin.
389	Kirkas kuin Venus oli komeetta, jolla oli miekanmuotoinen pyrstö.
565	100 päivää näkynyt kirkas komeetta.
837	Halley komeana, pyrstöä näkyi 14. 4. noin 80°, kirkkaus Venuksen luokkaa.
1145	Halley 1. suuruusluokkaa ja sillä 90° pyrstö.
1264	Upea komeetta, jolla erittäin pitkä, yli 100° pyrstö (siis yli puolen taivaan pituinen). Tämä "aiheutti paavi Urban II:n sairastumisen ja kuoleman".
1402	Venusta kirkkaampi (-5 mag) komeetta näkyi päivälläkin.
1472	Upea komeetta, jonka kirkkaus yli Venuksen kirkkaus.
1532	Hieno komeetta, kirkkaampi kuin Jupiter ja pyrstöä yli 15°.
1533	Jupiterin kirkkauksinen komeetta, jolla yli 15° pyrstö.
1556	"Kauhea ja omituinen", -2 mag komeetta, jonka pää oli punertava. Ehkä sama kuin vuoden 1264 komeetta.
1577	Erikoisen kirkas komeetta (jopa -7 mag), joka valaisi kuin Kuu. Tycho teki tästä havaintoja. Pyrstö parhaimmillaan 30°.
1580	Kirkas (yli -3 mag) komeetta, jolla 30° pyrstö.
1618 II	Löydettiin, kun nähtiin pyrstön nousevan horisontista. Pyrstö pisimmillään 70° ja kirkkaus 1 mag. Komeetta hajosi palasiksi.
1625	Kirkas komeetta, jolla lähes 40° pyrstö.
1664	Komeetan kirkkaus 1 mag, pyrstöä lähes 40°. Radan on laskenut Heveliuksen havainnoista Lindelöf (Helsinki 1854). Rata hyperbeli, $e = 1.00115$.

Vuoden 1680 suuri komeetta (yllä) ja Donatin komeetta 1858 VI.

1668	Ensimmäinen Kreutzin ryhmän komeetta, pyrstöä jopa 37°.
1680	Ensimmäinen kaukoputkella löydetty pyrstötähti (Kirch 14. 11.). Ei kovin kirkas, mutta yli 70° pyrstö parhaimmillaan. Pyrstön todellinen pituus 160 miljoonaa kilometriä. Horisontista nouseva pyrstö löydettiin ensin. Komeimmillaan 0 mag ja 40° pyrstö.
1695	Komeetta Chéseaux oli kirkkaampi kuin Venus (-5 mag) ja näkyi vielä 6 minuuttia ennen auringonnousua. Pyrstössä näkyi 11 sädettä ja pituus parhaimmillaan 90°. Ehkä 1700-luvun komein.
1744	Kirkas pyrstötähti, jolla yli 90° pyrstö. Mm. Lexell laskenut radan.
1770 I	Lexellin pyrstötähti ohitti Maan alle 3 miljoonan kilometrin päästä. Sen pään halkaisija oli 2.5° parhaimmillaan.
1811 I	Upea komeetta Flangergues, jolla oli 25° pitkä ja 7° leveä pyrstö. Havaittiin 16 kuukauden ajan.
1825 IV	Ponsin ja Bielan komeetta. Kirkkaimmillaan 2 mag ja pyrstöä 14°, monimutkainen säderakenne.
1835 III	Halley näkyi hienosti, kirkkaus 1 mag ja pyrstöä 20°.
1843 I	Loistava komeetta, joka näkyi päivälläkin. Kirkkaus jopa -8 mag. Pyrstö pisimmillään 70°. Yksi 1800-luvun hienoimmista. Pyrstön todellinen pituus peräti 250 miljoonaa km (suunnilleen sama kuin Marsin etäisyys Auringosta).
1853 III	Kirkas komeetta, jolla oli -1 mag:n kullankeltainen ydin ja pyrstöä maksimissa 12°.
1858 VI	Upea Donatin komeetta. Maksimikirkkaus 0 mag ja pyrstöä 40°. Ydin oli kellertävä ja koma oranssi. Komeetan pää meni Arkturuksen päältä. Yksi kauneimmista komeetoista, mitä on nähty.
1861 II	Hyvin kirkas komeetta, pää 0 mag ja pyrstöä peräti 118°. Maa meni pyrstön läpi 29.–30. 6. Kirkkaampi kuin Donatin komeetta, näkyi päivänvalossakin.
1862 III	Komeetalla yli 30° pyrstö.
1865 I	Komeetalla pyrstöä yli 30°.
1874 III	Coggian komeetta. Ydin oli 1 mag ja pyrstöä yli 60°.
1880 I	Komeetan pää vain 3 mag, mutta pyrstöä noin 50°.
1882 II	Upea komeetta, joka kirkkaampi kuin Venus (-5 mag) ja parhaimmillaan 30° pyrstö.
1882	Komeetta löydettiin täydellisen auringonpimennyksen aikana. Sen jälkeen sitä ei nähty.
1887 I	Kreutzin ryhmän komea pyrstötähti, yli 40° pyrstö, ydin 1 mag.
1901 I	Jupiterin kirkkauksinen komeetta ja pyrstöä 40°.
1910 I	Upea komeetta, joka oli paljon Venusta kirkkaampi ja pyrstö pisimmillään 40°. Ydin näkyi päivälläkin jopa lähellä Aurinkoa. Ehkä 1900-luvun paras (vuoteen 1982 mennessä).
1910 II	Halleylla näkyi pyrstöä parhaimmillaan 140°.
1911 IV	Komeetan kirkkaus 1 mag ja 15° pyrstö.
1911 V	Brooksin komeetta 2 mag kirkkaimmillaan ja 10° pyrstö.
1927 IX	Jupiterin kirkkauksinen komeetta, jolla 35° pyrstö.

Vuoden 1861 komeetta sekä sen pään yksityiskohtia.

Kevään 1983 komeetta IRAS-Araki-Alcock. (Kuva Juhani Salmi)

1947 XII	Kirkas eteläinen komeetta. Kirkkaimmillaan Venuksen luokkaa ja pyrstö 25°. Pää oranssi.
1948 XI	Kirkas komeetta, verrattavissa Venuksen kirkkauteen, 30° pyrstö.
1957 III	Kaunis Arend-Rolandin komeetta, kirkkaimmillaan 0 mag ja 30° pyrstöä. Tällä näkyi myös komea vastapyrstö Aurinkoon päin.
1957 V	Mrkosin komeetta näkyi heti edellisen jälkeen. Maksimissa 1 mag ja hyvin kaareva pölypyrstö, jossa säderakennetta.
1965 VIII	Ikeya-Seki, Kreutzin ryhmän komeetta. Ydin vaatimaton, mutta pitkä pyrstö.
1970 II	Bennettin komeetta näkyi hyvin Suomessakin keväällä. Ydin maksimissa 1 mag ja kirkas pölypyrstö jopa 20°.
1973 VII	Kohoutekilla näkyi valokuvissa yli 20° pyrstö. Ydin oli kirkkaimmillaan Jupiterin luokkaa.
1976 VI	West oli 1970-luvun hienoin komeetta. Pyrstöä parhaimmillaan yli 30°. Se oli viuhkamainen kuten Mrkosilla, ja komeetan maksimikirkkaus -3 mag. Ydin hajosi neljään osaan. Kiertoaika 15 000 vuotta.
1983d	IRAS-Araki-Alcock ohitti Maan noin 5 miljoonan kilometrin päästä ja näkyi paljain silmin noin 3° halkaisijaisena.

7. Suomalaisia komeettoja

Myös Suomessa on löydetty komeettoja. Niitä löytyi vuodesta 1935 alkaen, kun Turun yliopistossa professori Yrjö Väisälän johdolla alettiin etsiä pikkuplaneettoja uudella ns. kaksoispistekeinolla.

Pikkuplaneetat ja Pluto

Yrjö Väisälä kehitti pikkuplaneettojen etsimiseksi menetelmän, jossa samalle valokuvauslevylle otettiin kaksi eri kuvaa. Ensiksi valotettiin levyä 5–10 minuuttia, sitten pidettiin tunnin verran taukoa ja samaa levyä valotettiin uudelleen kymmenisen minuuttia. Jälkimmäisessä valotuksessa kaukoputkea siirrettiin hieman deklinaatiossa, ja niin tähdet tekivät kuviin samansuuntaiset pisteparit. Jos kuvan alueella oli jokin liikkuva kohde, pikkuplaneetta tai komeetta, muodostui tästä kahdessa valotuksessa vinossa oleva pistepari tai pistepari, jonka välimatka oli erilainen kuin tähdillä. Niinpä levyistä voitiin helposti huomata liikkuvat kohteet.

Valokuvauslevyjä otettiin hyvin valovoimaisella Väisälä-teleskoopilla. Sen polttoväli oli 103 cm ja aukko peräti 50 cm. Siten sen aukkosuhde oli 1:2, ja se oli siis 1030-millinen f:2-objektiivi! Yrjö Väisälä oli itse kehittänyt tällaisen optisen systeemin, jossa pääpeilinä on pallopeili ja kaarevuussäteensä päässä siitä korjauslasi eli ikkuna, joka korjaa tulevia valonsäteitä, jotta ne pääpeilistä heijastuttuaan muodostaisivat polttotasolle terävän kuvan. Nykyään tällainen teleskooppi tunnetaan Schmidt-kamerana. Väisälä kehitti sellaisen kuitenkin virolaista Schmidtiä ennen, muttei julkaissut ajatuksiaan. Niinpä Schmidt ehti ensin julkaista oman kehitemänsä ja sai nimensä kaukoputkelle. Tosin Väisälä-teleskoopissa on vielä valokuvauslevyn edessä linssi, joka korjaa polttotason tasoksi. Schmidt-kamerasa polttotaso on kaareva ja filmi täytyy taivuttaa kaarevalle pinnalle.

Turussa Iso-Heikkilän tähtitornissa löydettiin vuosina 1935–1955 peräti 800 uutta pikkuplaneettaa. Uusia komeettoja löydettiin kuusi. Niistä yksikään ei ollut erityisen huomiotaherättävä. Erikaisuutena voidaan mainita, että 10. 1. 1942 otetulta kaksoispistelevyltä löydettiin kohde, joka oli liikkunut valotusten välillä epätavallisen vä-

Komeetta Stephan-Oterma (ylempi utuinen täplä) ohittamassa Härän tähdistön Rapusumua M1 (alempi täplä) joulukuussa 1980. (Kuva Kari Kaila)

hän. Tarkemmin tutkittaessa huomattiin, että se onkin uloin planeetta Pluto. Jos Plutoa ei olisi löydetty 1930, se olisi löytynyt Turussa 1942!

Väisälän komeetta

Ensimmäinen komeetta löydettiin Turussa 8. 2. 1939. Sen löysi Yrjö Väisälä 15. magnitudin kohteena Leijonan tähdistöstä. Väisälä luuli kohdetta pikkuplaneetaksi, sillä se oli pistemäinen. Kohde liikkui pohjoiseen päin. Kuukautta myöhemmin Liisi Oterma laski kohteelle radan, joka osoittautui soikeaksi ellipsiksi ($e = 0.634$). Kun kohteen rata oli tiedossa, se löydettiin myös 19. 1. 1939 otetulta levyltä, jossa näkyi myös hento pyrstö. Löytö oli siten komeetta, ja se sai nimen Väisälä (1939 IV). Komeetta oli perihelissä 26. 4. ja silloin 1.76 AU:n päässä Auringosta.

Maalis – toukokuussa van Biesbroeck Yerkesin observatoriosta havaitsi komeettaa ja näki sillä hyvin lyhyen pyrstön. Komeettaa havaittiin eri puolilla maapalloa. Kirkkaimmillaan se oli maaliskuun loppupuolella, noin 13. magnitudia. Viimeiset havainnot komeetta Väisälästä tehtiin kesäkuun 8. päivänä, jolloin se oli enää hyvin heikko kohde. Oterman ratalaskujen mukaan komeetta on lyhytjaksoinen ja sen kiertoaika on 10.6 vuotta. Sen radan kaltevuus on 11.3° . Koska Väisälä löysi toisenkin jaksollisen komeetan, sai ensimmäinen myöhemmin nimen P/Väisälä 1.

Väisälä 1:n myöhemmät vierailut

Seuraavalla perihelivierailulla 1949 Väisälä 1:n löysi Oterman laskemien paikkojen mukaan uudelleen tšekkiläinen tähtitieteilijä Mrkos joulukuussa Skalnat Pleson observatoriosta. Se löytyi Vaa'an tähdistöstä 17. magnitudin kohteena. Komeetta oli ollut perihelissä 11. 11. 1949, joten se oli jo etääntymässä Auringosta. Tällä toisella kierroksella sitä havaittiin 18. 6. 1950 asti, jolloin sen kirkkaus oli 19.

Myös seuraavalla kierroksella Väisälä 1 havaittiin. J. Gibson löysi komeetan 11. 11. 1959 ja sitä havaittiin 18. 6. 1960 asti. Komeetta oli perihelissä 10. 5. 1960. Sen kiertoaika oli edelleen 10.5 vuotta. Neljän kerran komeetta havaittiin perihelissä syyskuussa 1971. Kun siitä tällä kerralla laskettiin rataelementit, huomattiin, että sen eksentrisyys oli pienentynyt hieman, 0.629:ään. Perihelietäisyys oli nyt 1.866 AU ja kiertoaika oli pidentynyt 11.3 vuoteen. Jupiter oli edellisellä kierroksella häirinnyt komeettaa ja muuttanut hieman sen rataa.

Vuonna 1981 komeetan löysi jälleen J. Gibson. Löytö tehtiin 7. 12. 1981 Palomarvuoren 1.2 metrin Schmidt-kameralla. Kirkkaus löytöhetkellä oli 20.5; se oli siis todella himmeä kohde. Taas havait-

tiin, että komeetan rata oli hieman muuttunut. Nyt oli kiertoaika jälleen pienentynyt. Se oli 10.9 vuotta. Väisälä 1 oli käynyt vuonna 1973 alle 1 AU:n päässä Jupiterista, ja taas oli suuri planeetta muuttanut komeetan rataa. Perihelissä komeetta oli 30. 7. 1982. Kirkkaimmillaan se oli tällä kerralla vain noin 18. magnitudin kohde ja siten havaittavissa ainoastaan suurehkoilla kaukoputkilla. Komeetta Väisälä 1 on nähty yhteensä viitenä eri kertana perihelinsä vaiheilla ja kuuden kerran se "nähdään" vuonna 1993.

Oterma ja Väisälä 2

Toisen turkulaisen komeetan löysi Liisi Oterma 12. 2. 1942. Komeetta löytyi Leijonan tähdistöstä 15. suuruusluokan kohteena, ja se sai nimen Oterma ja tunnuksen 1942 VIII. Oterman omien ratalaskujen mukaan komeetalla oli varsin suuri perihelietäisyys, 4.1 AU, ja sen rata oli lievästi hyperbolinen. Se oli siten Aurinkoa lähimmillään vain hieman Jupiterin radan sisäpuolella. Komeettaa havaittiin maaliskuuhun 1943 asti. Sen jälkeen sitä ei ole nähty eikä tulla ilmeisesti enää koskaan näkemäänkään.

Kolmannen suomalaisen komeetan löysi vuorostaan Yrjö Väisälä 11. 3. 1942 jälleen Leijonan tähdistöstä. Komeetan kirkkaus oli 13. Samalta levyltä Väisälä löysi myös nopeakulkuisen pikkuplaneetan puolen asteen päässä komeetasta. Pikkuplaneetta sai väliaikaisen nimen 1942 EC, ja myöhemmin, kun sen rata oli laskettu, se sai nimen Suomi. Sen numero pikkuplaneettaluettelossa on 1656.

Kaksoispistekeinolla löytyi Turussa komeetta Väisälä 2 11. 3. 1942. Komeetta näkyy kuvan keskellä parina, jonka pisteet ovat huomattavasti kauempana toisistaan kuin tähtien pisteet ja selvästi vinyneet.

Suomalaiset komeetanlöytäjät: Yrjö Väisälä ja Liisi Oterma. (Kuvat Kari Kaila)

Väisälän toisesta komeetasta saatiin havaintoja 17. 4. asti, siis vähän yli kuukauden ajalta. Väisälä itse laski komeetan radan ja huomasi sen jaksolliseksi. Komeetta Väisälä 2:n kiertoaika on 85.4 vuotta, ja lähimmillään Aurinkoa se on 1.29 AU:n päässä. Sen periheli oli 15. 2. 1942, joten komeetta löytyi vasta perihelin jälkeen. Seuraavan kerran se tulee periheliinsä vuonna 2027.

Stephan-Oterma

Neljännän komeetan löysi jälleen Oterma. Marraskuun 6. päivänä otetusta valokuvasta hän löysi uuden komeetan Härän ja Eridanuksen vaiheilta. Edellisenä päivänä sen oli jo kuvannut Whipple Harvardin observatoriosta. Komeetan kirkkaus löytöhetkellä oli 13. Komeetta sai tunnuksen 1942 IX. Kun siitä saatiin riittävästi havaintoja, sen havaittiin olevan sama komeetta kuin 1867 nähty Coggia-Stephan, jonka perihelikäyntiä vuonna 1904 ei ollut havaittu lainkaan.

Sodan vuoksi informaation kulku itärajan taakse oli jumissa. Niinpä neuvostoliittolaiset tähtitieteilijät ilmoittivat löytäneensä uuden komeetan 26. 12. Kyseessä oli sama Oterman löytämä komeetta. Nykyisin pyrstötähti kulkee nimellä Stephan-Oterma. Komeetta näkyi Suomessa hyvin seuraavalla perihelikäynnillään talvella 1980–81. Stephan-Oterman kiertoaika on 37.7 vuotta ja perihelietäisyys 1.57 AU.

Oterman outo rata

Viidennen Turun komeetan löysi taas Oterma. Hän havaitsi sen 3. 4. 1943 heikkona noin 15. suuruusluokan kohteena Neitsyen tähdistöä. Komeetta oli heikko, kuten muutkin Turussa löydetty komeetat, ja sillä oli pyöreä koma. Komeetta sai nimen 1943b. Kun Liisi Oterma ensi kertaa laski uuden komeetan rataa, hän koki yllätyksen. Komeetalla oli kaikkea muuta kuin normaali paraabelirata tai hyvin soikea ellipsirata. Pyrstötähti kiersi Aurinkoa lähes ympyrärataa! Eksentrisyudeksi saatiin vain 0.145, mikä on pienempi kuin Merkuriuksen ja Pluton ratojen eksentrisyydet ja noin puolitoista kertaa Marsin radan eksentrisyys. Uusi Oterma oli siten jaksollinen komeetta, ja sen kiertoajaksi saatiin 7.89 vuotta. Komeetan periheli oli ollut 21. 8. 1942, ja sen perihelietäisyys oli 3.389 AU.

Tätä ennen tunnettiin vain yksi pyrstötähti, Schwassmann-Wachmann 1 (1941 VI), jolla oli lähes pyöreä rata. Sen kiertoaika on 16 vuotta ja eksentrisyys 0.135.

Kun Oterman rata tunnettiin laskujen perusteella, löydettiin Turussa vielä aikaisemmin otettu kuva, jossa samainen komeetta näkyi. Levy oli otettu 17. 2. 1942, yli vuotta ennen varsinaista löytöä. Liisi Oterma keräsi vuosilta 1942–1956 kaikkiaan noin 200 havaintoa komeetastaan, ja hän laski niistä mahdollisimman tarkan radan ottaen huomioon Jupiterin ja Saturnuksen häiriöt.

Oterma sai selville, että 1940- ja 50-lukujen rata oli vain eräs välivaihe, sillä vuosina 1962–63 pyrstötähden rata muuttui voimakkaasti. Komeetta oli vain 0.1 AU:n päässä Jupiterista pitkäähkön aikaa. Samanlainen Jupiterin kohtaaminen oli tapahtunut vuoden 1937 vaiheilla, ja myös silloin oli suuri planeetta muuttanut komeetan rataa melkoisesti.

Oheisesta taulukosta nähdään, että ennen vuotta 1937 komeetan kiertoaika oli noin 18 vuotta. Vuosiksi 1937–1963 kiertoaika lyheni alle kahdeksaan vuoteen, ja taas vuoden 1963 jälkeen piteni 19 vuoteen. Oltuaan ennen vuotta 1937 kokonaan Jupiterin radan ulkopuolella komeetta muutti vuosiksi 1937–1963 Jupiterin radan sisäpuolella.

Taulukko. Oterman komeetan radan vaihtelu.

Ajanhetki	Periheli-aika	Perihelietäisyys (AU)	Eksentrisyys	Kiertoaika (vuotta)	Kaltevuus (astetta)
Ennen 1937		5.7	0.18	18	2.9
1942	21. 8. 1942	3.38889	0.14472	7.89	3.9897
1950	16. 7. 1950	3.40488	0.14276	7.92	3.9887
1958	10. 6. 1958	3.38782	0.14448	7.88	3.9922
1963:n jälkeen		5.4	0.25	19	

lelle. Jälleen 1963 sen rata suureni niin, että se on kokonaan Jupiterin ja Saturnuksen ratojen välissä. Kuten taulukosta myös huomataan, pysyi rata vuosina 1937–1963 varsin tarkkaan samanlaisena. Oterman komeettaa voitiin tuona aikana havaita Suomestakin, mutta kun se siirtyi 1963 Jupiterin tuolle puolen, se himmeni entisestään ja on nyt vain maailman suurimpien putkien ulottuvilla.

Väisälän kolmas

Kuudennen turkulaisen komeetan löysi Yrjö Väisälä 18. 4. 1944. Kohteen kirkkaus oli 14.5, ja se oli Neitsyen tähdistössä. Komeetta Väisälä 1945 I:n periheli oli löytöä seuraavana vuonna, 4. 1. 1945, ja perihelietäisyys 2.41 AU. Sitä havaittiin eri puolilla maailmaa vuodenvaihteeseen 1946 asti. Lopullisen radan eksentrisydeksi saatiin 0.9935, eli komeetta oli hyvin soikealla ellipsiradalla. Kirkkaimmillaan Väisälä oli noin 14. magnitudin kohde syksyllä 1944. Perihelinsä vaiheilla komeetta oli hiukan himmeämpi ja viimeisten havaintojen aikana loppuvuonna 1945 kuudennentoista magnitudin vaiheilla. Väisälällä oli hyvin heikko koma, joten se muistutti pikemminkin asteroidia kuin komeettaa.

Oterma löysi vielä jaksollisen komeetan Comas Solán vuonna 1944 läheltä ennustettua paikkaa. Tämä oli Comas Solán kolmas periheliohitus, ja löydettyäessä komeetan kirkkaus oli noin 15.

Pikkuplaneettojen etsintä Iso-Heikkilän tähtitornissa laantui 1940-luvun loppua kohti lisääntyneen asutusvalaistuksen myötä, eikä uusia komeettojakaan ole Suomessa enää myöhemmin löydetty. Tunnettujen komeettojen valokuvauksellista havaitsemista on kuitenkin jatkettu myös Turun yliopiston tähtitornin uudessa sijaintipaikassa Tuorlassa, päämääränä lähinnä komeettojen paikkojen mittaaminen ratojen laskemista varten. Lisäksi monet vanhemmat havainnot on mitattu uudelleen nykyisellä tarkemmalla mittauskoneella, ja uusia ratoja on laskettu ottamalla planeettojen häiriöt huomioon.

Taulukko. Suomalaisen löytämät komeetat. Rataelementtien määritelmät ks. luvun 8 tietolaatikko. Viimeisessä sarakkeessa oleva luku ilmoittaa komeetoista tehtyjen tarkkojen paikkahavaintojen lukumäärän.

Nimi	Tunnus	T		q	e	P
P/Väisälä 1	1939 IV	Apr.	26.07	1.762 AU	0.634	10.6 v
P/Väisälä 2	1942 II	Feb.	15.82	1.287	0.934	85.4
P/Oterma	1942 VII	Aug.	21.09	3.389	0.145	7.89
Oterma	1942 VIII	Sep.	27.28	4.113	1.003	—
P/Stephan-Oterma	1942 IX	Dec.	19.09	1.595	0.861	38.9
Väisälä	1945 I	Jan.	4.06	2.411	0.994	—

Lexellin komeetta

Yksi vanhempi komeetta kantaa myös suomalaisnimeä. Vuonna 1770 löysi Charles Messier Pariisissa kaukoputkellaan uuden pyrstötähden. Messier havaitsi komeettaa kesäkuussa, kun se kirkastui ja lähestyi

Suomalaisten komeettojen radat aurinkokunnan sisäosien läpi.

ω	Ω	i	hav.
44.34°	135.56°	11.27°	71
335.22	171.59	38.00	34
354.67	155.17	3.99	222*
163.67	280.39	172.51	35
358.27	78.61	17.90	113**
238.93	28.40	17.28	22

* vuosilta 1942–1962
** vuosilta 1867–1943

Fig. I. adh. r. 25 Decemb.

Fig. II. adh. r. 25 Decemb.

Jo. primò tenendum, Cometam hunc non esse eum, qui in aëte Decembris in Dodacatenoris libris apparuerat, quemadmodum Invenitur

Suomalaisutkijat ovat tehneet komeettahavaintoja myös aikaisemmin. Esimerkiksi Andreas Thuronius havaitsi vuosien 1664 ja 65 vaihteessa näkynyttä pyrstötähteä (yllä), Anders Donner teki piirroksia 1886 nähdystä Fabryn komeetasta, ja kirkasta Brooksia komeettaa (oikealla ylh.) kuvattiin 1911 Helsingin yliopiston kaksoisrefraktorilla.

Maata. Kesä – heinäkuussa sen näkivät monet, sillä komeetta tuli lähes Maata kohti. Heinäkuun alussa pyrstötähti ohitti Maan hyvin läheltä. Sen pään läpimitta oli yli 2° (neljä kertaa Kuun halkaisija). Komeetasta tehtiin havaintoja lokakuun alkuun saakka.

Turussa syntynyt ja yliopistonsa Turussa käynyt matemaatikko ja tähtitieteilijä Anders Lexell (1740 – 1784) ryhtyi laskemaan tämän pyrstötähden rataa Pietarissa. Pian hän huomasi, että kyseessä oli hyvin lyhytjaksoinen komeetta. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun yksikään komeetta havaittiin lyhytjaksoiseksi. Komeetta ohitti laskujen mukaan Maan heinäkuun 1. päivänä vain hieman yli 2 miljoonan kilometrin päästä (alle 6 Kuun etäisyyden päästä). Sen periheli oli 14. 8.

Statu et Loca Planetarum
 1 Sept. 30. 2. gr. 12. p orient.
 2 Mer. 26. 13. p occid.
 3 Mer. 19. 19. m occid.
 4 14. gr. 59 p
 5 Mer. 12. gr. 39. m occid.
 6 M. 24. gr. 8 p occid.
 7 In lat Sept. 14. gr. 19. S.

Statu et Loca Planetarum.

1 S. 2. gr. 32. p orient.
 2 M. D. 26. gr. 56. p occid.
 3 M. D. 2. gr. 10. m occid.
 4 15. gr. 3 p.
 5 M. D. 17. gr. 22. m occid.
 6 M. D. 20. gr. 16. p occid.
 7 S. A. 8. gr. 20. S.
 8 3. gr. 4. S.

ja sen kiertoaajaksi saatiin 5.6 vuotta. Perihelietäisyys oli 0.67 AU ja radan kaltevuus 1.6° . Kirkkaimmillaan Lexellin komeetta oli 1. – 2. magnitudin kohde, ja pyrstöä sillä näkyi elokuun loppupuolella asteen verran.

Seuraavan kerran Lexellin komeetan piti näkyä 1775 – 1776. Kun sitä ei löydetty lasketuista paikoista, eikä vielä seuraavallakaan kieroksella, alkoi Lexell etsiä syytä tähän. Hän laski pyrstötähden rataa ja paikkoja tarkemmin ja huomasi, että vuonna 1767 komeetta oli ollut Jupiterin lähellä. Tuolloin komeetta muuttui lyhytjaksoiseksi. Mutta 1779 pyrstötähti oli jälleen ollut hyvin lähellä Jupiteria. Se kulki laskujen mukaan jopa Jupiterin kuiden välistä. Tuolloin Jupiter muutti komeetan radan sellaiseksi, että Lexellin komeetta sinkoutui kaukana Jupiterin takana kiertävälle radalle, eikä pyrstötähteä ole sen jälkeen voitu havaita. Sitä ruvettiin kuitenkin kutsumaan Lexellin komeetaksi.

Osa II: Mitä komeetoista tiedetään

Astrologi ja hänen asiakkaansa pohtivat vuoden 1596 komeetan alkuperää ja merkitystä

8. Komeettojen radat

Paljonko pyrstötähtiä on kaikkiaan? Jo Kepler arveli, että taivaalla on komeettoja yhtä paljon kuin meressä kaloja. Hänen aikanaan uusia pyrstötähtiä havaittiin vuosisadassa vain parikymmentä. Havaintojen tahti kiihtyi vasta 1800-luvulla, kun tähtitiedettä ruvettiin laajemmin harrastamaan. Vuosien 1801 ja 1900 välillä löydettiin paljain silmin noin 80 uutta komeettaa.

Meidän vuosisadallamme on havaittujen pyrstötähtien määrä huimasti noussut tekniikan kehittymisen myötä. Uusia heikkoja komeettoja löydetään nykyään valokuvauslevyiltä, jotka on usein otettu aivan muuta tarkoitusta varten. Toisaalta maapallon eri puolilla tähyävät taivasta innokkaat tähtiharrastajat, joilla on kädessään hyvin valovoimainen kaukoputki. Heidän saaliinaan on kirkkaampia komeettoja, jotka siihen asti ovat vältäneet ammattilaisten näkökentän.

Uusia komeettoja (tai vanhojen komeettojen uusia ilmestyksiä) nähdään nykyään vuosittain toistakymmentä. Ennätysvuonna 1978 kirjattiin kokonaista 26 pyrstötähteä, joista yhdeksän oli ennestään tuntemattomia ja loput vanhoja jaksollisia komeettoja.

Havaittujen komeettojen kokonaismäärä on nykyään seitsemänsadan paikkeilla. Tämä luku ei kuitenkaan kerro paljonkaan komeettojen todellisesta määrästä. Komeettoja arvellaan olevan aurinkokunnan ympärillä suurena pilvenä, jonka ulkoraja on ainakin tuhat kertaa kauempana kuin uloimmat planeetat. Käsittelemme tätä ns. Oortin pilveä kohta tarkemmin. Viimeisimpien arvioiden mukaan Oortin pilvessä on komeettoja kaikkiaan noin miljoona miljoonaa eli 10^{12} . Näistä suurin osa on radoilla, jotka kiertävät kokonaan planeettojen ulkopuolella. Vain pieni murto-osa käy aurinkokunnan sisimillä alueilla, jossa komeetat voivat joutua Maan asukkaiden havaitsemiksi.

Komeettaluettelo

Vuosisatojen varrella on pyrstötähdistä laadittu monenlaisia luetteiloita. Nykyään ajan tasalla olevaa tietokonelistaa komeetoista pitää kansainvälisen tähtitieteellisen unionin IAU:n pikkuplaneettakes-

Vuosina 1975–76 nähty upea Westin komeetta (1976 VI) oli hyvin pitkulaisella ellipsiradalla, jonka sisin piste oli 0.197 AU päässä Auringosta ja jonka eksentrisyys oli 0.99997. (Kuva Lick Observatory)

kus, joka toimii IAU:n sähkötoimiston yhteydessä Cambridgessa Massachusettsin osavaltiossa Yhdysvalloissa. Komeettaluettelosta, samoin kuin IAU:n sähköisten ja tiedotuskirjeiden lähettämisestä, vastaa komeettatutkija Brian G. Marsden.

Marsdenin uusin *Catalogue of Cometary Orbits* ilmestyi 1982. Tähän luetteloon on koottu kaikki pyrstötähdet, joista on tehty luotettavia havaintoja. "Luotettava" tarkoittaa tässä sitä, että havainnot ovat olleet tarpeeksi tarkkoja ja monilukuisia komeetan radan laske-
miseksi. Pois on siten täytynyt jättää epäselvät tapaukset, joissa esimerkiksi himmeä komeetta on nähty vain yhden tai pari kertaa.

Vuoden 1982 IAU:n komeettaluettelossa on 1109 pyrstötähtien ilmestymiskertaa. Erillisiä komeettoja on tässä luvussa 710, ja loput ovat jaksollisten komeettojen eri vierailuja Auringon läheisyyteen.

Jaksolliseksi komeetaksi luettelo määrittelee sellaiset pyrstötähdet, joiden kiertoaika on alle 200 vuotta. Näitä luettelossa on 121, ja

jaksollisista komeetoista 78 on nähty vähintään kahden vierailunsa aikana. Niiden radat ovat siksi komeettojen joukossa parhaiten mää-
rättyt, ja niistä löytyvät myös tunnetuimmat komeetat (kuten Halley ja Encke).

Yli 200 vuoden kiertoaika on 589 komeetalla. Näistä 316 on lu-
teloitu "parabolisiksi" komeetoiksi, 104 "hyperbolisiksi", ja 169 pyrs-
tötähdellä on hyvin kauas ulottuva ellipsirata.

Ellipsi, paraabeli ja hyperbeli

Newtonin tunnetusta painovoimalaista voidaan laskea, millaisia ra-
toja Aurinkoa kiertävän kappaleen täytyy vetovoiman vaikutuksesta
liikkua. Tuloksena ovat ns. kartioleikkaukset eli sellaiset viivat, joita
saadaan kun kartiota leikataan erisuuntaisilla tasoilla.

Kartioleikkaukset voivat olla kolmentyyppisiä käyriä: ellipsejä,
paraabeleja tai hyperbelejä. (Mainitsimme nämä jo lyhyesti luvun 2

Tietolaatikko: Rataelementit

Aurinkoa kiertävän planeetan tai komeetan rata määräytyy yk-
sikäsitteisesti kuudesta ns. rataelementistä. Nämä ovat

- 1) *ison akselin puolikas* a , joka määrää ellipsiradan koon. a :n ti-
lalla voidaan käyttää perihelietaisyyttä q , joka saadaan kaa-
vasta $q = a(1 - e)$. Radan pikkuakselin puolikas $b = a\sqrt{1 - e^2}$.

- 2) *eksentrisyys* e , joka määrää ellipsin epäkeskisyyden ja samalla
soikeuden. Ellipsillä e on keskipisteen ja polttopisteen väli-
matkan (oheisessa kuvassa c) suhde ison akselin puolikkaa-
seen.

- 3) *inklinaatio* i , joka määrää ratatason kaltevuuden. Inkliinaatio
on maapallon ratatason (ekliptikan) ja komeetan ratatason
välinen kaltevuuskulma eli tasojen normaalien välinen kulma.
Se voi saada arvot 0 ja 180 asteen välillä. Jos kaltevuus on yli
90 astetta, komeetta kiertää Aurinkoa vastakkaiseen suuntaan
kuin planeetat.

- 4) *nousevan solmun pituus* Ω , joka on ekliptikan tasossa laskettu
kulma kevättasauspisteen suunnasta komeetan radan nouse-
vaan solmuun, so. pisteeseen, jossa rata nousee ekliptikan ete-
läpuolelta sen pohjoispuolelle.

- 5) *perihelin argumentti* ω , joka on komeetan ratatasossa laskettu
kulma nousevasta solmusta periheliin. Perihelin argumentti ja
nousevan solmun pituus voivat saada kaikki arvot 0 ja 360 as-
teen välillä.

- 6) *periheli aika* T , joka on se ajanhetki, jolloin komeetta ohittaa
perihelinsä eli on lähinnä Aurinkoa.

Kuuden rataelementin lisäksi radasta ilmoitetaan usein perihe-
lietaisyyttä q , ns. keskiliike eli komeetan keskimääräinen kulma-
nopeus taivaalla (n° , asteina vuorokaudessa) ja kiertoaika P .

tietolaatikossa.) Ellipsi on tuttu soikea käyrä, jonka muoto määräytyy kahdesta ns. rataelementistä: eksentrisyydestä ja isonakselin puolikkaasta.

Eksentrisyys eli epäkeskisyys kuvaa sitä, kuinka kaukana ellipsin keskipiste on Auringon keskipisteestä; Aurinkohan on ellipsin ns. polttopisteessä. Jos eksentrisyys e on nollan suuruinen, keskipiste yhtyy polttopisteeseen ja kyseessä on ympyrä. Mutta eksentrisyyden kasvaessa nolasta kohti ykköstä ellipsi venyy yhä soikeammaksi ja pitemmäksi ja Aurinko on yhä lähempänä ellipsin toista päätä.

Kun eksentrisyys saa arvon yksi, ei kartioleikkaus ole enää suljettu käyrä, vaan ulottuu toisessa päässä äärettömyyteen. Tällöin rataa sanotaan paraabeliksi. Jos eksentrisyys on ykköstä suurempi, on kartioleikkaus vielä leveämpi äärettömyyteen ulottuva avoin käyrä, jota sanotaan hyperbeliksi.

Kun Newton esitti painovoimalakinsa ja siitä seuraavat rataliikkeen muodot, ei aurinkokunnasta tunnettu muita kappaleita kuin lähes ympyränmuotoisilla ellipseilla liikkuvat planeetat ja niiden kuut. Mutta kun pyrstötähdet sitten todettiin Aurinkoa kiertäviksi kappaleiksi, niiden radoista löytyi hyvin pitkulaisia ellipseja ja jopa paraabeleja ja hyperbeleja.

Newtonin painovoimalaista seuraa yksinkertainen yhteys myös ellipsirataa kiertävän komeetan radan koolle ja kiertoajalle. Radan koon määrää ellipsin isonakselin puolikas a . Jos a ilmoitetaan tähtitieteellisinä yksikköinä (AU) ja kiertoaika T vuosina, on $a^3 = T^2$. Jos siis pyrstötähtien ellipsiradan isonakselin puolikas on esimerkiksi noin 34.2 AU, on $a^3 = 34.2 \times 34.2 \times 34.2 = 40\,000$ ja T on sen neliöjuuri eli 200 vuotta. Näemme että Marsdenin komeettaluettelon ”jaksolliset” pyrstötähdet käyvät korkeintaan noin $34 + 34 = 68$ AU:n päässä Auringosta.

Miten rata määrätään

Komeetan radan määrittämiseen tarvitaan vähintään kolme tarkkaa paikkahavaintoa. Oletetaanpa että japanilainen tähtiharrastaja huomaa illan pimennyttyä taivaalla heikon valopisteen, jota hän epäilee pyrstötähdeksi. Hän merkitsee pisteen paikan tarkkaan tähtikarttaansa ja saa näin yhden havainnon. Hän seuraa kiikarillaan valopistettä ja huomaa sen liikkuvan. Jonkin ajan päästä harrastaja merkitsee karttaan toisen paikan ja soittaa sitten lähimpään observatorioon, jossa onneksi on väkeä ottamassa tähtivalokuvia. Observatoriossa ehditään ottaa yksi valokuva, ennen kuin valopiste laskee taivaanrannan taakse. Nopeasti kehitetyltä valokuvauslevyltä määrätään kohteelle kolmas paikka ja huomataan samalla sen utuinen muoto.

Kohde on ilmeisesti komeetta. Observatorion johtaja sähköttää Yhdysvaltoihin IAU:n sähkekeskukseen tiedon löydöstä ja antaa kolme ensimmäistä paikkahavaintoa. Paikat syötetään Yhdysvalloissa tietokoneeseen, joka laskee alustavan radan. Koska useimpien komeettojen rata on hyvin pitkulainen ellipsi tai lähes paraabeli, laskeaan alustavaksi radaksi ensin paraabeli. Se on helpoin laskea ja antaa ainakin muutamaksi viikoksi eteenpäin komeetalle tarpeeksi tarkan radan.

IAU:n sähkekeskuksen ohjelma antaa paraabelin ns. rataelementit eli kulmat, jotka määräävät radan asennon avaruudessa, sekä perihelietäisyyden ja periheliajan. Näiden elementtien perusteella ohjelma laskee pyrstötähtien paikan tuleville öille. Lasketut paikat sähkötetään komeettahavaintoja tekeville tähtitorneille ja harrastajille.

Muutamassa viikossa saadaan eri puolilta maapalloa kymmeniä tarkkoja paikkahavaintoja pyrstötähddestä. Niiden perusteella voidaan laskea radan tarkempi muoto. Se on tavallisesti ellipsi. Usein kuitenkin komeetasta ei saada tarpeeksi havaintoja tarkan, ”lopullisen” radan laskemiseksi. Tällöin komeettaluetteloihin jää alustava paraabelirata. Paraabeli onkin Marsdenin luettelossa yleisin komeettaradan muoto.

Jaksolliset komeetat

Tarkastelemme seuraavaksi erityyppisillä radoilla olevia komeettoja. Selvän ryhmän muodostavat jaksolliset pyrstötähdet. Niiden kiertoaika vaihtelee Encken komeetan 3.3 vuodesta Wilkin komeetan 187 vuoteen; jälkimmäinen komeetta on nähty toistaiseksi vain kerran, 1937, kun taas Encken komeetan vierailuja Auringon lähellä on rekisteröity enemmän kuin millään muulla pyrstötähdellä, vuoden 1982 loppuun mennessä 52.

Jaksolliset komeetat eroavat pitemmillä radoilla olevista pyrstötähdistä varsinkin ratatasojensa kaltevuuden suhteen. Paraabeliradoilla (tai lähellä sitä) olevat komeetat tulevat aurinkokuntaan mielivaltaisista suunnista ja satunnaisilla kaltevuuskuulmilla. Niiden radat ovat siis aivan sokin sokin avaruudessa.

Jaksolliset komeetat ovat sen sijaan järjestäytyneet suunnilleen planeettojen ratatasoon, ja useimmat niistä kiertävät Aurinkoa samaan suuntaan kuin planeetat. Tässä suhteessa jaksolliset komeetat muistuttavat pikkuplaneettoja.

Komeettaradat eroavat kuitenkin asteroideista suuren eksentrisyytensä takia. Vain harva pikkuplaneetta kiertää Aurinkoa hyvin soikealla ellipsiradalla, kun taas pyrstötähdistä vain muutamalla on lähellä ympyrää oleva pyöreä ellipsirata.

Vasemmalla lyhytjaksoisten komeettojen inkliinaatiojakautuma. Suurin osa radoista on lähellä planeettojen ratatasoa. Oikealla lyhytjaksoisten komeettojen aphelijakautuma. Ratojen uloimmat pisteet ovat useilla pyrstötähdillä Jupiterin radan tuntumassa; kuvioon on piirretty useita Jupiterin komeettaperheen ratoja. Myös Saturnuksella, Uranuksella ja Neptunuksella voi olla pienet komeettaperheet. (Pylväsdiagrammat perustuvat Marsdenin luettelon tilastoihin, ratapiirros on Richterin kirjasta *The Nature of Comets*)

Jos tutkitaan jaksollisten komeettojen aphelietäisyyksien jakautumaa (eli sitä, kuinka kaukana Auringosta on radan uloin piste), havaitaan mielenkiintoinen seikka. Jakautumassa on hyvin selvä huippu 5 AU:n kohdalla eli Jupiterin radan etäisyydellä. Tällaisia komeettoja, jotka käyvät kääntymässä Jupiterin radan tienoilla, sanotaan Jupiterin komeettaperheeksi. Jakautumassa on pienet pyrstötähtiperheet myös Saturnuksella, Uranuksella ja Neptunuksella, vaikka viimemainituissa "perheissä" ei olekaan kovin monia jäseniä.

Pitkäjakoiset komeetat

Pyrstötähtiä, joiden kiertoaika on yli 200 vuotta tai joille on laskettu vain paraabelirata, sanotaan usein "pitkäjakoisiksi" komeetoiksi erotukseksi "jaksollisista" tai "lyhytjaksoisista" komeetoista.

Pitkäjakoisten komeettojen perihelijakautuma (yllä) heijastaa vain sitä seikkaa, että havainnot tehdään maapallolta. Kauempana Auringosta kulkevia pyrstötähtiä ei pystytä havaitsemaan. Pitkäjakoisten komeettojen inkliinaatiojakautumasta (vas.) näkyy, että kaltevuudet ovat jakautuneet satunnaisesti. Pitkäjakoisten ja parabolisten komeettojen aphelijakautuma (alla) osoittaa, että komeettojen määrä pienenee hyvin nopeasti auringokunnan keskustan ulkopuolella. Kukin mustattu neliö vastaa yhtä komeettaa. (Piirroksat perustuvat Marsdenin luettelon tilastoihin)

Pitkäjakoisille pyrstötähdille voidaan laatia samantapaisia tilastoja kuin jaksollisille. Otetaan esimerkiksi ratojen kaltevuudet. Oheisesta piirroksista näkyy, miten radat ovat aivan satunnaisesti kallel-

laan, kuten jo edellä todettiin, ja miten pitkäjaksoisia komeettoja kii-
tää aurinkokunnan sisäosien läpi usein myös vastakkaiseen suuntaan
kuin planeetat (eli kaltevuus on yli 90°).

Toisena esimerkkinä voimme tutkia ratojen perihelietäisyyksien
jakautumaa. Kuviosta nähdään, että komeetoista suurin osa käy lä-
himmillään noin 1 AU:n päässä Auringosta. Tämä on näennäinen il-
miö ja johtuu siitä, että kaikki komeettahavainnot tehdään juuri 1
AU:n etäisyydellä Auringosta eli maapallolta. Todellisuudessa peri-
helijakautuman arvellaan olevan suunnilleen tasainen: pyrstötähtiä
käy yhtä paljon lähellä Aurinkoa kuin kauempana Auringosta. Tasai-
sen jakautuman perusteella voidaan arvioida, että noin viidellä mil-
joonalla komeetalla on perihelinsä Neptunuksen radan sisäpuolella.

Pienimmät perihelietäisyydet ovat Kreutzin ryhmän "auringon-
hipojilla", joista kerrottiin jo aikaisemmin. Ennätystä pitää hallus-
saan tekokuukuvista löydetty komeetta Howard-Koomen-Michels,
joka elokuussa 1979 suorastaan törmäsi Aurinkoon. Suurin perihelie-
täisyys, noin 6.9 AU, on 1975 nähdyllä Schusterin komeetalla.

Oortin pilvi

Pitkäjaksoisille komeetoille voidaan myös piirtää aphelipisteiden ja-
kautuma, samoin kuin lyhytjaksoisille tehtiin. Tällä kertaa ei jakau-
tumassa huomata samanlaisia huippuja kuin lyhytjaksoisten tapauk-
sessa oli Jupiterin kohdalla. Ainoa huippu on aurinkokunnan lähellä,
josta aphelipisteiden määrä nopeasti vähenee ulospäin mentäessä.
Aphelija löytyy jopa 100 000 – 150 000 AU:n etäisyydelle asti eli
puoliväliin lähimpiä tähtiä.

Näin saatu jakautuma ei anna oikeaa kuvaa komeettojen luku-
määrästä eri etäisyyksillä. Jos aphelipiste on lähellä aurinkokuntaa,
kiertoaika on lyhyt ja pyrstötähti käy suhteellisen usein Auringon lä-
hellä. Kauas ulottuvalla radalla kiertoaika on pitkä ja komeetta käy
harvoin Auringon luona.

Kun aphelijakautumassa otetaan komeettojen kiertoaika huo-
mioon, näyttävät aphelipisteet jakautuvan suunnilleen tasaisesti.
Kauas ulottuvia komeettaratoja on yhtä paljon kuin lähemmäs ulot-
tuvia. Koska kaukaisemmat aphelipisteet ovat jakautuneet paljon
suurempaan tilavuuteen kuin lähemmät, harvenee komeettojen lu-
kumäärä tasaisesti ulospäin.

Aurinkokunnan ulkopuolella leviävää komeettapilveä sanotaan
"Oortin pilveksi" hollantilaisen tähtitieteilijän Jan Oortin mukaan,
joka ennusti pilven olemassaolon vuoden 1950 paikkeilla. Oort "löy-
si" pilven tutkiessaan komeettaratojen isonakselinpuolikkaiden
käänteisarvoja eli suureiden $1/a$ jakautumaa. Siinä näkyy huomati-

tava huippu nollan lähellä (eli suurilla apheliarvoilla), ja tästä Oort
päätteli että yli 20 000 AU:n etäisyydellä Auringosta on mahtava
"komeettavarasto", jossa on n. 10^{11} pyrstötähteä.

Oortin tutkimusmenetelmä oli ainakin osittain virheellinen, ja ny-
kyään ei uskota mihinkään komeettojen tihentymään suurilla etäi-
syyksillä. Komeettoja on eniten aurinkokunnan lähiympäristössä, ja
niiden määrä pienenee ulospäin mentäessä. Oortin pilven komeetto-
jen lukumääräarviota on nostettu kymmenkertaiseksi Oortin itsensä
antamasta arvosta eli 10^{12} :een, kuten jo aiemmin mainittiin.

Pilven ulkoraja

Oortin pilven ulkoraja on noin 100 000 AU:n kohdalla eli runsaat
kaksituhatta kertaa Pluton etäisyyttä kauempana ja noin kolmasosas-
sa etäisyydestä lähimpään tähteen. Aphelipisteitä löytyy kyllä suu-
remmiltakin etäisyyksiltä (ja komeettaradoista monet ovat jopa ää-
rettömyyteen ulottuvia paraabeleja ja hyperbelejä), mutta nämä ra-
dat ovat vain näennäisiä. Todellisuudessa kyseiset komeetat eivät
luultavasti ole tulleet noin kaukaa.

Oortin pilven ulkoreuna on 100 000 AU tienoilla. Tätä kauempana Linnunradan
keskus ja lähitähdet häiritsevät komeettojen liikettä ja vakaat radat eivät ole
mahdollisia. Kullakin tähdellä on todennäköisesti oma komeettapilvensä. Tä-
hdenvälisessä avaruudessa harhailee myös karanneita komeettoja, mutta niiden
avaruustiheys ei voi olla kovin suuri.

Syynä näennäisiin suuriin arvoihin ovat lähitähden ja Linnunradan keskustan häiriöt. Vaikka Linnunradan keskusta on Auringosta kaukana, sinne on keskittynään valtavasti massaa, jonka vetovoima on huomattava. Aurinkokunnan lähiympäristössä Auringon vetovoima on vallitseva, mutta laskujen mukaan yli 100 000 AU:n päässä Linnunrata jo häiritsee komeettojen liikettä oleellisesti. Jos Oortin pilvi ulottuisi tätä rajaa kauemmaksi, Linnunradan vetovoima hajotaisi pilven ulko-osat suhteellisen nopeasti. Alueella 60 000 – 100 000 AU Linnunrata pystyy vielä muuttamaan komeetan radan ellipsistä hyperbeliksi tai päinvastoin.

Linnunradan häiriö on suunnilleen vakio ja se voidaan laskea. Sen sijaan lähitähden liikkeitä ei kovin hyvin tunneta. Vuosimiljoonien varrella on useiden tähtien täytynyt käydä niin lähellä Aurinkoa, että tähdet ovat häirinneet Oortin pilven komeettojen ratoja. Koska 100 000 AU:n etäisyydelle ulottuvilla komeettaradoilla kiertoaika on kymmenisen miljoonaa vuotta, ehtivät tähdet usein häiritä hitaasti liikkuvia, kaukaisia komeettoja.

Jos siis aurinkokunnan keskustaan ilmestyy pyrstötähti, joka näyttää tulevan 200 000 AU:n päästä, voi kyseessä olla esimerkiksi 80 000 AU:n päästä tuleva komeetta, jolle Linnunradan keskus tai ohikulkeva lähitähti on antanut pienen nopeudenlisäyksen. Samoin havaitut hyperboliset komeettaradat ovat voineet muodostua ellipsiradoista Linnunradan tai tähtien vetovoiman vaikutuksesta.

Kaukana Auringosta Linnunradan keskus ja lähitähdet voivat muuttaa komeetan radan ellipsistä hyperbeliksi tai päinvastoin.

"Alkuperäiset" ja "tulevat" radat

Kun olemme edellä puhuneet pitkäjaksoisten komeettojen radoista ja aphelietäisyyksistä, eivät kyseessä ole aivan samat radat, joista on tehty havaintoja maapallolta. Kunkin komeetan kohdalla täytyy nimittäin tehdä selvä ero, puhutaanko "alkuperäisestä" radasta, havaitusta radasta vai "tulevasta" radasta.

Kuten jo edellisessä kohdassa näimme, komeettojen rataelementit eivät ole pysyviä suureita, vaan radoissa voi tapahtua muutoksia. Kaukana Auringosta muutoksia aiheuttavat tähdet ja Linnunrata, aurinkokunnan sisäosissa taas planeetat.

Kun komeetta kiittää planeettakunnan läpi, jokainen planeetta nykii komeettaa voimalla, joka on verrannollinen planeetan massaan. Vaikutus on sitä suurempi, mitä lähempää komeetta ohittaa planeetan. Jokaisen komeetan rata muuttuu aurinkokuntaan tapahtuvalla vierailulla vähän, joillakin tuskin havaittavasti, toisilla taas hyvinkin dramaattisesti.

Komeettaradoille pystytään tarkasti laskemaan kunkin planeetan aiheuttama häiriö. Kun seurataan komeetan liikettä taaksepäin, voi-

Auringon lähellä havainnoista saatava rata ei välttämättä ole samanlainen kuin se rata, jota pitkin komeetta on lähestynyt aurinkokunnan keskustaa, tai se rata, jota pyrstötähti poistuu planeettojen läheltä.

daan laskea millainen komeetan rata oli aurinkokunnan ulkopuolella. Tätä sanotaan alkuperäiseksi radaksi. Vastaavasti voidaan laskea tilannetta eteenpäin ja sanoa, millaisella radalla komeetta on sitten kun se on taas päässyt aurinkokunnan ulkopuolelle.

Alkuperäiset ja tulevat radat on nykyään laskettu kaikille pitkäjaksoisille komeetoille. Oortin pilven kohdalla edellä puhuttiin nimienomaan alkuperäisistä radoista. Niiden jakautuma on hieman toisenlainen kuin havaittujen ratojen, jotka on lueteltu IAU:n komeetaluettelossa. Esimerkiksi hyperbelejä on alkuperäisissä radoissa paljon vähemmän kuin havaituissa; planeettojen häiriöt pyrkivät muuttamaan alkuperäistä ellipsirataa hyperbelin suuntaan. Muutamia kymmeniä "alkuperäisiäkin" hyperbelejä on löytynyt, mutta näidenkin oletetaan kuuluvan aurinkokuntaan. Niiden muodostuminenhan selitettiin edellä Linnunradan häiriöistä johtuvaksi.

Samoin "tulevia" ratoja planeettojen häiriöt pyrkivät muuttamaan hyperbelin suuntaan. Siksi moni komeetta, jonka rata on maapallon lähellä havaittu hyvin pitkulaiseksi ellipsiksi, on aurinkokunnan ulkopuolelle ehdittyään hyperbeliradalla. Se siis todennäköisesti karkaa tähtienväliseen avaruuteen.

Jupiterin vaikutus

Kun tutkitaan eri planeettojen vaikutusta komeettojen ratoihin, huomataan Jupiterin häiriö ehdottomasti suurimmaksi. Saturnuskin pysyy nykimään komeettoja jonkin verran, Uranus ja Neptunus aivan vähän ja muut planeetat tuskin lainkaan.

Vielä enemmän kuin pitkäjaksoisia komeettoja häiritsevät planeetat lyhytjaksoisten komeettojen liikettä, koska niiden rata kulkee koko ajan planeettojen joukossa ja vielä suunnilleen samassa ratatasossa.

Varsinkin Jupiterin komeettaperheen radat muuttuvat usein komeettojen sattuessa kulkemaan läheltä Jupiterin ohi. Oheisessa piirroksessa on esimerkki Jupiterin vaikutuksesta Lexellin komeettaan; komeetasta kerrottiin jo edellisessä luvussa.

Vuoteen 1766 asti Lexell oli lähes ympyränmuotoisella radalla asteroidivyöhykkeen ulkoreunan ja Jupiterin ratojen välissä. Vuonna 1767 komeetta ohitti Jupiterin vain 0.02 AU:n (3 miljoonan kilometrin) päästä ja joutui ellipsiradalle, jonka periheli oli Maan radan sisäpuolella. Jupiter heitti komeetan vuonna 1779 radalle, jonka kaukaisin piste on pitkällä Pluton radan takana ja kiertoaika 260 vuotta. Vaikka Lexell tulee uuden ratansa periheliin ensi vuosisadalla, sitä tuskin voidaan havaita, koska se ei tule 5 AU:ta lähemmäksi Aurinkoa.

Lähellä Aurinkoa komeettaa häiritsee planeettojen vetovoima. Kuvassa Lexellin komeetan rata vuosina 1660–1766 (1), vuosina 1767–1778 (2) ja vuosina 1779–2060 (3). (Piirros perustuu S. Kazimirschak-Polonskajan laskuihin.)

Planeettojen häiriöiden laskeminen on tärkeää myös silloin, kun pohditaan lyhytjaksoisten komeettojen syntyä. Palaamme tähän asiaan komeettojen alkuperää koskevassa luvussa.

Reaktiovoimat

Kuten edellä on nähty, komeetat liikkuvat jatkuvasti muuttuvilla radoilla, toisin kuin aurinkokunnan planeetat tai niiden kuut. Komeettoja heittelevät radoilta toiselle planeetat, tähdet ja koko Linnunratamme.

Tilanne on todellisuudessa vieläkin mutkikkaampi. Edellä on koko ajan oletettu, että komeettojen liikkeen määrää pelkästään painovoima. Näin ei kuitenkaan ole. Pyrstötähtien on havaittu muuttavan rataansa hieman myös reaktiovoimien takia. Esitimme reaktiovoimille selityksen jo luvussa 4. Aurinko lämmittää komeettaa eniten juuri Aurinkoa kohti kääntyneestä pisteestä. Lämpö höyrystää jäätä, jolloin komeetan pinnasta voi purkautua avaruuteen ainesuihku. Reaktiovoima työntää komeettaa tällöin vastakkaiseen suuntaan.

Reaktiovoimien vaikutus osataan jaksollisilla pyrstötähdillä ottaa jo melko hyvin huomioon radan määrittämisessä. Reaktiovoiman vaikutus kiertoaikaan on tavallisesti vuorokauden kymmenes- tai sadasosan luokkaa, mutta joissain tapauksissa sen on havaittu aiheuttavan jopa neljän vuorokauden viivästymisen.

9. Komeettojen rakenne

Tyypillisessä komeetassa on kaksi pääosaa: komeetan pää ja pyrstö. Pää koostuu komaksi sanotusta laajasta utumaisesta pallosta, jonka kirkkaus yleensä kasvaa keskustaa kohti. Koman keskellä tai aurionpuoleisella laidalla voi olla kirkas, lähes pistemäinen kohta, jota on kirjamme alkuluvuissa sanottu komeetan ytimeksi. Komeetan varsinainen ydin, parin kilometrin läpimittainen "likainen lumipallo", on piilossa havaittavan ytimen sisällä. Lumipallo on niin pieni, että sitä ei suurillakaan kaukoputkilla pysty Maasta erottamaan. Tässä luvussa tarkoitetaan ydin-sanalla tätä varsinaista pientä komeettaa.

Komeetan pään ympärillä leviää valtava, miljoonien kilometrien läpimittainen harva vetypilvi, ns. vetyhalo, joka on onnistuttu näkemään vasta viimeisen 15 vuoden aikana avaruusaluksista ja raketeista tehdyillä mittauksilla.

Tarkastelemme tässä komeetan rakennetta hännästä päähän päin, ja aloitamme siis komeetan luonteenomaisimmasta piirteestä, pyrstöstä.

Kolmentyyppisiä pyrstöjä

Useimmat komeetat ovat niin heikkoja ja pieniä, ettei niille muodostu pyrstöä lainkaan. Kirkkailla komeetoilla on kuitenkin lähes poikkeuksetta pyrstö. Ne ovat sananmukaisesti pyrstötähtiä. Pyrstö syntyy yleensä Marsin tai viimeistään Maan radan vaiheilla komeetan lähestyessä Aurinkoa. Vasta 1530-luvulla kiinnitti Peter Apian huomiot siihen, että komeettojen pyrstöt osoittavat aina Auringosta poispäin.

Komeettojen pyrstöt on luokiteltu kolmeen tyyppiin I, II ja III. (Nykyään käytetään vain kahta tyyppiä.) Tyypin I pyrstö on suora plasmapyrstö (kaasupyrstö) ja siinä nähdään usein huomattavasti hienorakennetta, mm. mutkia ja hentoja säteitä. Plasmapyrstön valo on osittain heijastunutta auringonvaloa, mutta pääasiassa valo tulee Auringon ultraviolettisäteilyn virittämistä atomeista ja molekyyleistä viritystilojen purkautuessa. Värikuissa plasmapyrstö on usein sininen.

Bennettin pyrstötähti nähtiin upeasti keväällä 1970. Komeetan päästä lähtee ylöspäin suora plasmapyrstö, jossa näkyy virtauskuviota, ja leveämpi, ylhäältä oikealle kaartuva pölypyrstö. (Kuva Karl Schwarzschild-Observatorium, Akademie der Wissenschaften der DDR)

Komeetta koostuu ytimestä, ytimen ympärillä olevasta komasta sekä pyrstöstä. Ydintä ja komaa sanotaan yhteisesti komeetan pääksi.

Tyyppien II ja III pyrstöt koostuvat pölystä. Ne ovat selvästi kaareutuvia, tyyppissä III jopa voimakkaasti kaareutuvia. Näissä pyrstöissä ei ole juuri lainkaan sisäistä rakennetta. Poikkeuksellisesti eräillä suurilla komeetoilla (esim. Mrkosin ja Westin komeetoilla) on pölypyrstöissä ollut säderakennetta, joka on paljon karkeampaa kuin kaasupyrstön rakenne. Pölypyrstöt heijastavat auringonvaloa, ja siksi ne ovatkin värikuvissa kellertäviä.

Miten pyrstö syntyy

Vielä 1950-luvulla uskottiin, että komeettojen pyrstöt syntyvät Auringon säteilypaineen vaikutuksesta. Aurinkohan säteilee paitsi näkyvää valoa, myös infrapuna- ja radioaaltoja sekä ultraviolettia ja röntgensäteilyä, siis lähes koko sähkömagneettisen spektrin aaltoluettua. Säteily on voimakkainta näkyvän valon alueella, keltaisessa valossa. Siksi Aurinko näkyy keltaisena. Auringon säteilemä valo aiheuttaa säteilypainetta, joka työntää komeetastakin materiaa avaruuteen. Säteilypainelle vastakkaisena voimana on Auringon vetovoima.

Selvittääkseen pyrstöjä aiheuttavan poistovoiman toimimisen tähtitieteilijät mittasivat kiihtyvyyksiä komeettojen pyrstöissä. Seuraamalla esimerkiksi jotain plasmapyrstön poimun liikettä saatiin selville sen nopeus. Tällöin havaittiin, että materian kiihtyvyys riippui pyrstön tyypistä. Tyypin I pyrstössä oli poistovoima 200 kertaa (suurimmillaan jopa 2000 kertaa) suurempi kuin Auringon vetovoima!

Useimmat komeetat ovat vain hyvin heikkoja ututäpliä taivaalla. Tässä on neljä tyyppillistä komeettaa. Yllä P/Schwassmann-Wachmann 2 ja Boethin ja alla P/West-Kohoutek-Ikemura ja P/Kohoutek. (Kuvat Kari Kaila)

Tyyppin II pyrstössä kiihtyvyys oli 1–2 kertaa niin suuri kuin Auringon vetovoima, ja III tyyppissä kiihtyvyys saattoi olla Auringon vetovoimaa pienempi.

Nyt teoreetikot selvittivät ongelmaa ja osoittivat, että säteilypaineen vaikutus komeetan molekyyliin ja pölyhiukkasiin on enintään muutamia kertoja suurempi kuin Auringon gravitaatiovoima. Säteilypaine voisi selittää siten tyyppin III ja ehkä vielä tyyppin II pyrstönkin, muttei enää tyyppin I pyrstön syntyä. Tarvittiin siis jokin toinen

Pyrstötyypit kaavamaisesti esitettyinä. Kaasupyrstö (tyyppi I) on aina lähes suora ja sen rakenne näkyy hyvin. Pölypyrstöt ovat aina vähemmän (tyyppi II) tai enemmän (tyyppi III) kaarevia. Myös katsomissuunnasta riippuu, kuinka kaarevina me näemme pyrstöt.

voima työntämään pyrstön osia avaruuteen. Saksalainen astrofysikko Max Beyer ehdotti ultraviolettisäteilyn osuutta pyrstön syntyyn. Auringon aktiivisuuden oli nimittäin havaittu kirkastavan komeettoja, ja ultraviolettisäteilyn osuus puolestaan riippui aktiivisuudesta. Tämäkään selitys ei riittänyt.

Aurinkotuuli ajaa kaasua

Täydellisten auringonpimennysten aikana nähdään Auringon kaasukehä, korona. Se laajenee vähitellen avaruuteen, ja koronaan täytyy tulla lisää materiaa poistuneen aineen tilalle. Jo 1900-luvun vaihteessa tunnettiin revontulien aiheuttajat, Auringosta peräisin olevat varatut hiukkaset. Sitten 1951 L. Biermann keksi selittää Auringon hiukkassäteilyn avulla komeettojen pyrstöt. Biermannin ennustuksen mukaan Auringosta tulisi jatkuvasti varattuja hiukkasia, jotka leviäisivät avaruuteen. Tämän ns. aurinkotuulen olemassaolo todistettiin Kuuhun matkaavan luotaimen avulla vuonna 1959. Havainto varmistettiin vielä v. 1962 kohti Venusta lähetettyyn Mariner II:een sijoitettulla Auringon plasmalla mittaavalla laitteella.

Aurinkotuulen hiukkasten, lähinnä elektronien ja protonien nopeuden havaittiin olevan Maan vaiheilla luokkaa 400 km/s ja tiheyden 5 hiukkasta/cm³. Heliumatomin ytimiä eli alfahiukkasia aurinkotuulella on noin 5 %. Aurinkotuulella on positiivisia ja negatiivisia

Pyrstön näennäinen pituus riippuu katsoimiskulmasta. Vinosti nähty pitkäpyrstöinen komeetta voi näyttää yhtä pitkältä kuin sivulta nähty lyhytpyrstöisempi komeetta.

hiukkasia yhtä paljon, niin että tuulen nettovaraus on nolla. Auringosta ei siis lähde vain positiivisia tai vain negatiivisia varauksia; silloinhan Aurinko itse varautuisi vastakkaismerkkisesti. Aurinkotuuli on siten plasmataa eli elektroneista ja positiivisista ioneista koostuvaa kaasua.

Aurinkotuuleen on sitoutunut myös magneettikenttää. Kun aurinkotuulen hiukkaset saapuvat komeetan luo, voivat ionit kytkeytyä magneettikenttään siten, että tyypin I plasmapyrstöön ilmaantuu usein ohuita säikeitä. Säikeet voivat olla satojatuhansia kilometrejä pitkiä, mutta vain muutamia tuhansia kilometrejä paksuja. Plasmapyrstön kokonaispituus voi olla 100 – 200 miljoonaa kilometriä eli samaa luokkaa kuin Maan etäisyys Auringosta (150 milj. km).

Pölypyrstö ja vastapyrstö

Koska komeetan ydin liikkuu koko ajan radallaan, ei plasmapyrstö osoita suoraan Auringosta pois päin, vaan on hieman jäljessä komeetan kulkusuuntaan nähden. Kun pölypyrstön hiukkasten nopeudet komeetan ytimeä pois päin ovat paljon pienemmät kuin plasmapyrstön ionien nopeudet, jää pölypyrstö vielä enemmän jälkeen ytimen liikesuuntaan nähden, ja siksi se on kaarevampi. Pölypyrstön

Aurinkotuuli painaa pyrstötähtien pyrstöt aina Auringosta pois päin.

Vastapyrstö on vain näennäinen ilmiö. Se muodostuu tyypin III kaarevasta pyrstöstä, joka komeetan kiertäessä Aurinkoa jää ytimestä jälkeen ja näyttää osoittavan Aurinkoa kohti.

Arend-Rolandilla näkyi komea vastapyrstö huhtikuun 25. päivänä 1957. (Kuva Turun yliopisto)

hiukkaset ajautuvat Auringosta poispäin Auringon säteilypaineen, ei aurinkotuulen, ajamina.

Joskus komeetoilla nähdään ns. vastapyrstö. Se on ytimestä Aurinkoon päin osoittava pyrstö, joka nähdään normaalien Auringosta poispäin osoittavien pyrstöjen lisäksi. Tällainen vastapyrstö on havaittu silloin tällöin komeetoilla, jotka ovat ohittaneet Maan ratatason jyrkässä kulmassa. Silloin näemme komeetan pyrstön pienessä kulmassa. Tällöin kovin kaareva tyypin III pölypyrstö saattaa jäädä sen verran jälkeen, että se aiheuttaa näennäisen vastapyrstön. Hiukkaset tyypin III vastapyrstössä ovat halkaisijaltaan millimetrin luokkaa. Komea vastapyrstö nähtiin mm. Arend-Rolandin pyrstötähdellä 1956. Myös Kohoutekilla havaittiin vastapyrstö sekä Skylab-avaruusalukselta että maanpinnalta.

Pyrstö ja magneettikenttä

Ajautuessaan kauemmaksi Auringosta aurinkotuulen hiukkaset muodostavat planeettainvälisen magneettikentän. Kentällä on havaittu sektorirakenne. Kenttä muodostuu yleensä neljästä sektorista, joissa magneettikenttä on joko Aurinkoa kohti tai siitä poispäin. Koska Aurinko pyörii akselinsa ympäri kerran noin 27 vuorokaudessa ja aurinkotuulella on äärellinen nopeus, sektorirakenne muodostaa Arkhimedeen spiraalin näköisen laajenevan rakenteen.

Auringon magneettikentän sektorirakennetta Imp 1-satelliitin mittausten mukaan. Kuvassa +-merkki tarkoittaa Auringosta poispäin olevaa polariteettia ja --merkki Aurinkoon päin olevaa polariteettia. Sektorirajan ylityksessä saattaa komeetan pölypyrstöön muodostua pykälä kuten Mrkosin komeetan kuvassa kirjamme kannessa.

Planeettainvälisen kentän sektorirakenne vaikuttaa komeettojen pyrstöihin. Kun magneettikenttä komeetan vaiheilla muuttuu vastakaissuuntaiseksi, saattaa aurinkotuulen nopeus ja tulosuunta muuttua voimakkaasti. Tämä aiheuttaa plasmapyrstöön häiriöitä, esim. solmuja, mutkia tai muita selviä merkkejä.

Nykyään aurinkokunnassa on useita avaruusluotaimia, jotka mitaavat mm. magneettikentän suuntaa ja aurinkotuulen nopeutta. Suurten auringonpurkausten seurauksena aurinkotuulen nopeus voi Maan vaiheilla kasvaa jopa yli tuhanteen kilometriin sekunnissa. Mitastausten avulla on voitu yhdistää plasmapyrstöjen mutkat juuri planeettainvälisen kentän sektorirajan ylityksiin. Vastaavasti voidaan vanhemmista komeettahavainnoista ja kuvista päätellä, milloin komeetta on läpäissyt sektorirajan ja missä kulmassa magneettikenttä on ollut. Näin voidaan kartoittaa, tosin rajoitetusti, planeettainvälisen magneettikentän sektorirakennetta 1800-luvulle asti.

Komeetan ydin

Miten sitten saamme tietoa komeetan ytimestä? Sehän on niin pieni, ettei sitä ole koskaan nähty kaukoputkilla. Avuksemme tulevat yti-

Arend-Rolandin (yläkuva) ja Mrkosin komeetan spektrit, joissa näkyy C_2 :n, CN:n ja CO^+ :n spektriviivä. Mrkosin spektrissä näkyvät CO^+ :n vyöt selvästi kirkaammin. (Kuva Lick Observatory)

mestä höyrystyvät kaasut sekä siitä irtoava pöly. Kaasun koostumuksen voimme määrittää spektroskopian avulla. Komeetan komasta ja pyrstöstä voidaan ottaa spektri, jossa nähdään pölyn aiheuttama jatkuva spektri (joka on itse asiassa sama kuin Auringon spektri) ja kaasun tai pikemminkin plasman aiheuttamia emissioviivoja.

Whipple esitti vuonna 1950 komeetan ytimen mallin, johon olemme jo useita kertoja viitanneet. Hänen mukaansa ytimet ovat ns. "likaisia lumipalloja", pienten meteoroidien, pölyn sekä veden (H_2O), ammoniakkin (NH_3), metaanin (CH_4), hiilidioksidin (CO_2) ja C_2N_2 :n jäätynyttä kasumia. Ytimen kiinteät hiukkaset vaihtelevat kooltaan mikrometreistä jopa metrien luokkaan asti. Lumipallo on niin tukeva, että se kestää planeettojen ja Auringon vuorovesivoimien repivät vaikutukset silloinkin, kun ydin ohittaa nämä taivaankappaleet läheltä.

Avaruuden kylmyydessä molekyylit ovat syväjähdytettynä ja komeetan ydin kiertää vain likaisena lumipallona rataansa. Aurinkoa lähestyttäessä pinnalta höyrystyy ytimen vettä, ammoniakkia ym. jäätynyttä ainesta ja muodostaa koman. Samalla alkaa myös tyyppin II pyrstö muodostua mikrometrin (eli tuhannesosamillimetrin) luokkaa olevista pölyhiukkasista. Koska Auringon ultraviolett- ja röntgensäteily pilkkoo ja ionisoi ytimeä irronneita molekyylejä, havaitaan spektrissä viivoja myös aineista, jotka eivät ole pysyviä. Näitä aineita ei tavata vapaina Maan ilmakehästä. Laboratorioissa niitä voidaan tuottaa keinotekoisesti, mutta ne eivät "elä" pitkään. Aine komeetan päässä on hyvin paljon harvempaa kuin parhaissakaan tyhjiöissä, joita Maan päällä on saavutettu. Pyrstöissä aine on vieläkin harvempaa.

Komeetan kemia

Nykyään tunnetaan useita eri atomeja ja molekyylejä, joista pyrstötähden koma koostuu. Näitä aineita on lueteltu oheisessa taulukossa. Osa niistä on metalleja, esim. natrium, kalium, rauta ym. Useat molekyylit säilyvät koman sisäosissa suurempina, sillä koman ulko-osat suojaavat niitä pahimmalta pilkkovalta lyhytaaltoiselta säteilyltä. Harva-aineisissa plasmapyrstöissä tavataan lähes yksinomaan ionisoituneita osasia (aineita, joista yksi tai useampia elektroneja on pois-

Taulukko. Komeetoista löytyneitä alkuaineita ja molekyylejä. Vasemmalla komeetan päästä löytyneet neutraalit molekyylit ja oikealla kaasupyrstön ionit.

N, OH, H_2O , O, S, S_2
C, C_2 , C_3 , CH, CN, CO, CS
HCN, CH_3CN , NH
 NH_2 , Na, Fe, K
Ca, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu

CO^+ , CO_2^+ , H_2O^+ , OH^+
 CH^+ , N_2^+ , Ca^+ , C^+ , CN^+

Kohoutekin spektrin hienorakennetta spektrin keltaisessa ja punaisessa osassa eri päivinä. Spektrivyo, joka alkaa 516.5 nm:n kohdalta, on peräisin C_2 :sta. Jokunen katulamppujen elohopean (Hg) spektriviivakin on kuvassa mukana. (Kuva Lick Observatory)

tunut). Näitä aineita on myös lueteltu taulukossa. Pyrstössä tavataan myös samoja aineita kuin komeetan päässä.

Whipple laski mallissaan myös kyseisen jäämöhkäleen kaasuntuoton eri etäisyyksillä Auringosta. Mallin mukaan kaasun purkaukuminen alkaa kunnolla noin 3 AU:n päässä. Siihen asti komeetoilla on yleensä jatkuva spektri, mutta noilla vaiheilla alkaa spektriin ilmestyä CN:n spektriviivoja. Kun ydin on lähestynyt 2 AU:n päähän Auringosta, ilmaantuu spektriin C_3 - ja NH_2 -viivoja. Tällöin komeetta on jo Marsin radan vaiheilla. Noin 1.5 AU:n päässä spektri voimistuu ja siihen ilmestyy C_2 -, CH-, OH- ja NH-viivoja.

Metalliviivoista ensimmäinen, natrium (Na), alkaa näkyä, kun komeetta on alle 0.8 AU:n päässä Auringosta. Aurinkoa hipovissa komeetoissa havaitaan jo muidenkin metallien viivoja, esim. Fe (rauta), Cr (kromi) ja Ni (nikkeli). Pölypyrstöissä on nähty piin (Si) spektriviivoja.

Kaikki edellämainitut aineet on nähty näkyvän valon aallonpituuksilla mitatuissa spektreissä. Myös muilla aallonpituusalueilla on tehty mielenkiintoisia havaintoja. Ultraviolettivalossa otetuista spektreistä voidaan tutkia vety-, hiili-, typpi- ja happiatomien sekä usei-

den yksinkertaisten molekyylien esiintymistä. Ongelmana on, ettei maapallon ilmakehä läpäise juuri lainkaan näitä ultraviolettisäteitä. Niinpä ultraviolettialueen spektriä on tutkittu avaruudesta 1970-luvulta lähtien.

Suuri vetykehä

Komeetat Tago – Sato – Kosaka (1969 IX) ja Bennett (1970 II) olivat ensimmäiset komeetat, joilla havaittiin suunnaton vetypilvi ytimen ja koman ympärillä. Havainnot tehtiin tammikuussa 1970 ja helmikuussa 1970 OAO-2-tekokuun (Orbiting Astronomical Observatory no 2) spektrometrillä ja OGO-5-luotaimen (Orbiting Geophysical Observatory no 5) fotometreillä, jotka mittasivat ultravioletissa valossa olevaa vedyn Lyman alfa -säteilyä. Atomimuodossa olevan vedyn (H) pilvi oli todella suunnaton, läpimitaltaan noin 15 miljoonaa kilometriä (0.1 AU). Se havaittiin molemmilla komeetoilla lähes yhtä suurena. Näkyvässä valossa koma on yleensä hyvin paljon pienempi, tyypillisesti luokkaa 100 000 km.

Kohoutek ja sen vetyhalo suunnilleen samassa mittakaavassa. Vetyhalo on kuvattu rakettilennolla 200 km korkeudelta. Valokuva on otettu Turun yliopistossa 10. 1. 1974.

OA0-2:n vetymittausten mukaan Bennettillä havaittiin myös voimakas OH (hydroksyyli-radikaali) -emissio 309 nm:n aallonpituudella. Nyt voitiin ensimmäisen kerran päätellä, että sekä H:n että OH:n suurten pitoisuuksien täytyy olla peräisin vedestä. Vesimolekyylin hajotessa auringonvalon vaikutuksesta syntyvät juuri havaitut molekyylit H ja OH sekä O. Mitatuista H- ja OH-emissioista voitiin teoreettisesti laskea H_2O :n tuottonopeus. Tulokseksi saatiin $10^{29} - 10^{30}$ molekyyliä sekunnissa (n. 10 000 kg/s) eli samaa luokkaa oleva luku, kuin Whipple ennusti likaisen lumipallon mallista. Näin voitiin vetää se johtopäätös, että vesi (jää) on komeettojen pääasiallinen aine.

1970-luvun tuloksia

Myös komeetta Kohoutekista (1973 XII) otettiin ultraviolettispektrejä rakettikokeissa. Silläkin havaittiin vetyhalo, mutta myös hapen (O) ja hiilen (C) viivoja. Skylab-avaruusaseman ultraviolettikamera kuvasi myös Kohoutekin vetyhaloa. Se oli noin parin miljoonan kilometrin suuruinen eli siis suurempi kuin Aurinko!

Kohoutekin jälkeen seuraava huomattava komeetta oli West (1976 VI). Westistä saatiin ensimmäinen tarkempi spektri ultraviolettisissa valossa. Spektristä löydettiin useita uusia, ennen havaitsemattomia atomeja, jotka sisältyvät luvun alussa julkaistuun taulukkoon. Molekyyli- ja S_2 viivat löytyivät ensi kerran komeetta IRAS-Araki-Alcockin ultraviolettispektristä 1983.

Tällainen voisi olla komeetan ydin. Keskellä on kiinteä ydin ja sitä ympäröi likainen lumi. Pinnalla olisi 0.1–1 metrin paksuinen löyhä pölyinen kuorikerros. (Piirros mukailtu David W. Hughesin artikkelista Journal of the British Interplanetary Society -lehestä)

Komeettoja on tutkittu myös pitemmillä sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuksilla. Infrapuna-alue antaa tietoa suuremmista molekyyleistä sekä pölyhiukkasten koosta. Mikroaaltosäteilyä syntyy molekyylin rotaatiotilojen muuttuessa. Kohoutekista löydettiin mikroaaltospektrin avulla HCN- ja CH_3CN -molekyylit. Edellinen on syaanivety (tunnetaan myös sinihappona), jälkimmäinen metyyliisyanidi. Komeetta Bradfield 1974 III:sta löydettiin vettä (H_2O). Vesimolekyyli sekä kaksi muuta molekyyliä on havaittu komeetoista vain kerran. Vesi voidaan havaita suoraan spektristä vain mikroaaltosuureella. Näkyvällä ja ultraviolettialueella se ei säteile mitään.

Kaavakuva komeetasta

Kaavamainen kuva komeetasta on siten seuraavanlainen: Ydin koostuu jäistä ja niiden seassa olevasta hiekasta ja kivistä. Jäät muodostuvat pääasiassa emomolekyyleistä H_2O , HCN, CH_3CN , CO, CO_2 . Komassa on useita emomolekyylin pilkkoutumistuotteita, ja koman

Tällainen puolestaan on komeetan pää. Mittakaava kuvassa on logaritminen. Kuvan poikki on piirretty Giotto-avaruusluotaimen suunniteltu lentorata. (Piirros ESA)

Komeetan ytimestä lähtevien hiukkasten radat kaavamaisesti esitettynä. Tässä nähdään miten komeetan pään parabolinen ulkonäkö muodostuu. Oikealla piirros Donatin komeetan (1858 VI) päästä.

ympäri on laaja vetyhalo. Kaasupyrstö sisältää pääasiassa ionisoituneita pilkkoutumistuotteita. Näkyvän valon alueessa voimakkain on CO^+ -ioni, joka aiheuttaa kaasupyrstölle sen tyypillisen, ainakin valokuvissa näkyvän sinisen värin.

Komeetan ytimen kuumin alue on Auringon puolella, joten sieltä höyrystyy eniten kaasua ja samalla irtoaa pölyä sekä pieniä kiinteitä hiukkasia. Nämä lähtevät kaasun poistumissuuntaan eli säteittäisesti ytimestä poispäin. Pian aurinkotuuli alkaa painaa niitä Auringosta poispäin, ja tällöin muodostuu komeetan paraabelin muotoinen tai hieman sateenvarjoa muistuttava pää. Hiukkasjakaumasta riippuu, millainen pää tai kuori komeetalle muodostuu. Pienimmät hiukkaset joutuvat helpommin aurinkotuulen kuljetettavaksi, ja niiden reuna muodostuu parinkymmenentuhannen kilometrin päähän ytimestä, sen Auringon puolelle. Suuremmat hiukkaset muodostavat ulomman reunan.

Ytimen hajoamiset ja purkaukset

Komeettojen ytimet eivät voi olla kovin lujaa materiaa, eivät esimerkiksi yhtä suurta kiveä, sillä niiden hajoamisista on useita havaintoja. Jo v. 371 eKr. oli Ephoros kertonut pyrstötähdessä, joka jakaantui kahdeksi tähdeksi. Häntä ei uskottu vaikka kyseessä lieene ollut ytimen hajoaminen kahteen osaan.

Äkilliset kaasupurkaukset pyrstötähdissä ovat melko yleinen ilmiö. Niiden yhteydessä komeetan ydin kirkastuu melko paljon. Komeettojen ytimien hajoamisia tunnetaan joitakin kymmeniä, joten nekin eivät ole kovin harvinaisia. Näillä ilmiöillä saattaa olla teke mistä toistensa kanssa. Jos pyrstötähdessä tapahtuu purkaus ja voimakas äkillinen kirkastuminen, on ytimen sisältä purkautunut lyhyessä ajassa kaasumaista materiaa ja pölyä avaruuteen. Auringonvalossa tämä näkyy kohteen kirkastumisena. Joissain tapauksissa höyrystynyt aine ei pääse heti purkautumaan ytimestä, ja se aiheuttaa painetta ytimessä. Tällöin hauraampi ydin saattaa jopa haljeta useampaan osaan tai komeetasta saattaa irrota pieni kappale, joka aikansa loistettuaan haihtuu ja häviää.

Varsinaista komeetan ytimen hajoamisen syytä ei tunneta. Auringon säteily ja Auringon vuorovesivoima ovat todennäköisimpiä syitä, muita voivat olla mm. Jupiterin vuorovesivoima tai komeetan törmäys asteroidiin. Jostakin syystä ytimen hajoamiset näyttävät keskittyvän ekliptikan tasoon (planeettojen tasoon). Sen sijaan purkauksia tapahtuu muuallakin.

Vuorovesivoimat halkaisevat ytimiä

Useimmat niistä komeetoista, jotka ovat hajonneet, ovat olleet aktiivisia. Niissä on havaittu kirkkaita kaasusuihkuja tai purkauksia ja ytimen ja koman kirkkaudet ovat vaihdelleet. Hyvin usein hajoaminen on tapahtunut lähellä periheliä.

Kahdesti on komeetan ydin hajonnut yli neljään osaan. Tämä on tapahtunut kirkkaalle komeetalle 1882 II ja jaksolliselle komeetalle Brooks 2:lle, 1889 V. Edellisen ydin hajosi yli kuuteen osaan 12 vuorokautta perihelin jälkeen. Komeetta 1882 II samoin kuin kahtia hajonnut komeetta Ikeya-Seki 1965 VIII ovat Kreutzin ryhmään kuuluvia Aurinkoa hipovia komeettoja, jotka lähimmillään Aurinkoa ollessaan olivat 0.0077 AU:n päässä (1.15 milj. km:n päässä siitä). Lähellä Aurinkoa (0.11 AU) on hajonnut kahteen osaan myös eteläinen komeetta 1947 XII. Näissä tapauksissa Auringon lämpö ja vuorovesivoimat ovat hajottaneet komeetan. Sen sijaan Brooks 2 hajosi kolmen vuotta ennen periheliä. Se oli ollut silloin eli v. 1886 hyvin lähellä Jupiteria, ja planeetan vuorovesivoimat ovat Brooks 2:n todennäköisin hajoamissy. Nämä neljä komeettaa sekä mahdollisesti myös 1976 näkynyt Westin pyrstötähti ovat hajonneet juuri vuorovesivoimien seurauksena.

Sisäinen paine syypää

Pyrstötähtiä on hajonnut silloinkin kun ne ovat olleet kauempana

8 MAR 76

12 MAR 76

14 MAR 76

18 MAR 76

24 MAR 76

Hieno kuvasarja komeetta Westin ytimen hajoamisesta neljään osaan maaliskuun huhtikuussa 1976. Maaliskuun 14., 18. ja 24. päivän kuvissa nähdään, kuinka ydin C lähtee nopeasti A:sta (vasen yläydin) ja himmenee. Maaliskuun lopun kuvassa C-ydintä ei enää näy. Huhtikuun kuvissa ydin A on ylimpänä, sitten on D ja alimpana B. (Kuvat New Mexico State University Observatory)

Auringosta, esim. Maan radan etäisyydellä tai Marsin radan lähellä. Kaukana Auringosta ja planeetoista ovat hajonneet komeetat Kopff 1905 IV ja Wirtanen 1957 VI, joten Auringon vuorovesivoimat eivät ole voineet niitä hajottaa. Edellisen perihelietäisyys on 3.3 AU ja jälkimmäisen peräti 4.45 AU. Sisäinen paine on saattanut rikkoa Wirtasen, sillä vuoden 1957 alussa siinä oli havaittu voimakas purkaus. Tämän seurauksena komeetta oli kirkastunut huomattavasti, vaikka se olikin tuolloin noin 5 AU:n päässä Auringosta! Tässä tapauksessa komeetan ydin on hajonnut purkauksen seurauksena, tai päinvastoin. Komeetta Wirtasen purkauksessa on arvion mukaan lähes puolet ytimen tilavuudesta haihtunut "taivaan tuuliin". Komeettaa havaittiin kaikkiaan noin neljä vuotta ja kaksi ydintä oli näkyvissä yli kahden vuoden ajan.

Useissa tapauksissa toinen ydin on nähty vain vähän aikaa, enintään muutamia viikkoja. Tänä aikana molempien ytimien kirkkaudet ovat vaihdelleet paljon lyhyessä ajassa, kuten esim. Bielan komeetan hajottua. Yleensä pienempi osanen on pian hävinnyt kokonaan ja jäljelle on jäänyt vain emokomeetta. Bielan tapauksessa sekä emo että pienokainen nähtiin toisenkin kerran perihelissä, mutta muista komeetoista ei tällaista havaintoa ole.

Westin hajoaminen

Viime vuosikymmenen hienoin komeetta West 1976 VI kulki lähimmillään 0.196 AU:n päässä Auringosta (30 milj. km), ja perihelissä komeetta oli 25. 2. 1976. Se näkyi hyvin keväisellä aamutaivaalla. Perihelinsä vaiheilla Westin ydin hajosi neljään osaan. Osista, niiden liikkeistä ja kirkkauksista saatiin runsaasti havaintoja (toisin kuin esim. 1882 II -komeetasta). Niiden avulla voitiin sanoa, että ensimmäinen

1 APR 76

2 APR 76

3 APR 76

7 APR 76

8 APR 76

mäinen osa D irtosi pääytimestä A 12 vuorokautta ennen periheliä, toinen osa B vajaa 3 vrk ennen periheliä ja kolmas osa C 10 vrk perihelin jälkeen. On myös mahdollista, että osa B onkin irronnut osasta D alle 2 vrk perihelin jälkeen.

Westin osasten kirkkaudet vaihtelivat suuresti, ja osa C oli näkyvissä vain kymmenisen päivää. Saattaa olla, että ydin C hajosi vielä pienempiin osiin. Ytimet A ja D himmenivät maaliskuun huhtikuussa melko tasaisesti, B sen sijaan kirkastui ja himmeni useita kertoja.

Hartleyn komeetat

Helmikuun 5. päivänä 1982 englantilaisella Schmidt-teleskoopilla otetusta kuvasta Marc Hartley löysi komeetan. Tutkiessaan lisää samaa valokuvauslevyä hän löysi toisenkin komeetan runsaan asteen päästä edellisestä. Ensiksi löydetyn komeetan kirkkaus oli 14 ja jälkimmäisen 17 magnitudia. Seuraavana yönä kohteista otettiin uusi kuva, josta havaittiin, että molemmilla oli suunnilleen sama liike. Ne liikkuvivat samaan suuntaan ja suunnilleen yhtä nopeasti.

Komeetat saivat nimet Hartley 1982 b ja 1982 c. Kolmen yön havaintojen pohjalta B. Marsden laski komeettojen ratoja. Jo tuolloin näytti siltä, että paraabelirata ei sopisi niille niin hyvin kuin ellipsirata. Komeettojen arveltiin olevan lyhytjaksoisia. Koska molemmille komeetoille sopivat samat rataelementit, kunhan vain perihelietkeä muutettiin, voitiin päätellä komeettojen syntyneen samasta emokomeetasta.

Helmikuun 19. päivänä pulma ratkesi. Tokion tähtitieteen laitoksella Kosai osoitti, että Hartleyn komeetat olivat sama kuin 1945 näkynyt jaksollinen komeetta du Toit 2 (1945 II), jonka olisi pitänyt olla perihelissä 10. 2. 1982. Tämän komeetan kiertoajaksi oli saatu 5.2 vuotta, mutta sitä ei ollut nähty vuosien 1945 ja 1982 välillä lainkaan.

Komeetta sai nyt nimekseen du Toit-Hartley (1982b, 1982c). Joulukuussa 1963 se oli ohittanut Jupiterin 0.34 AU:n päästä (50 milj. km), mikä saattaakin olla syynä du Toitin hajoamiseen.

10. Komeettojen kirkkaudet

Aurinkokunnan eri taivaankappaleiden kirkkaudet riippuvat niiden etäisyydestä Aurinkoon (r) ja Maahan (Δ) sekä niiden absoluuttisesta kirkkaudesta (E_0). Jos kappale etääntyy valaisevasta kohteesta, siis Auringosta, sen kirkkaus pienenee etäisyyden neliössä. Samoin kirkkaus pienenee, jos kohde etääntyy havaitsijasta, siis Maasta. Jos kohde on kiinteä kappale, saadaan sen kirkkaus E kaavasta:

$$E = \frac{E_0}{\Delta^2 r^2}.$$

Komeetan suuruusluokka

Komeetat eivät ole kiinteitä kappaleita muualla kuin hyvin kaukana Auringosta. Lähempänä Aurinkoa niiden ytimestä irtoaa pölyä ja höyrystyy kaasua. Tällöin komeetan pää eli koma laajenee ja heijastaa enemmän valoa kuin ytimen kokoinen kiinteä kappale. Komeetan kirkkaus kasvaa sitä enemmän, mitä enemmän ytimestä irtoaa ainetta. Lisäksi kaasu alkaa myös itse säteillä Auringon ultraviolettia- ja röntgensäteilyn virittäessä kaasuatomeita. Komeetan kirkkaus riippuu yleisesti etäisyyden Δ toisesta ja etäisyyden r n :nnestä potenssista, missä n tavallisesti on yli 2.

Kirkkautta kuvaava kaava saa siten muodon

$$E = \frac{E_0}{\Delta^2 r^n}.$$

Kohteen suuruusluokka voidaan laskea kaavasta

$$m = -2.5 \log E + \text{vakio}.$$

Kun tähän sijoitetaan E :n lauseke saadaan:

$$m = -2.5 \log E_0 + 2.5 \log \Delta^2 + 2.5 \log r^n + \text{vakio}.$$

Jos merkitään $m_0 = -2.5 \log E_0 + \text{vakio}$ ja sievennetään eksponentit kertoimiksi, saadaan:

$$m = m_0 + 5 \log \Delta + 2.5 n \log r.$$

Komeetan kirkkauden käyttäytyminen riippuu sen ytimen aktiivisuudesta. Komeetta Morehousesta (1908 III) irtosi lokakuussa 1908 koko pyrstö, jonka tilalle on kuvassa ehtinyt muodostua säikeistä uutta kaasupyrstöä. (Kuva Yerkes Observatory)

Neljän eri komeetan kirkkauskäyrät. Ympyrät ovat suuruusluokkia ennen periheliä, pisteet perihelin jälkeen. Bennett sekä Arend-Roland kirkastuivat ja himmenivät samalla lailla. Sen sijaan Westphal hävisi kokonaan. Mitä jyrkemmin käyrä nousee vasemmalle, sitä suuremman n :n arvon mukaan komeetta kirkastuu ja himmenee. (Tämä ja seuraava piirros mukailtu Luigi Jacchian artikkelista Sky and Telescope -lehestä)

Jos Δ ja r ovat tähtitieteellisissä yksiköissä, saadaan komeetan kirkkaus m lasketuksi, kun tunnetaan komeetan absoluuttinen suuruusluokka eli komeetan suuruusluokka, kun se on sekä Maasta että Auringosta yhden astronomisen yksikön päässä. Jos $\Delta = r = 1$ AU, niin $m = m_0$.

Poikkeavaa käyttäytymistä

Vakio n on komeetoilla keskimäärin 4.2. Suurimpana arvona on n :llä ollut 6 ja pienimpänä jopa alle 2. Mitä suurempi n on, sitä nopeammin

Kohoutekin ja Halley'n kirkkauskäyrät. Ympyrät ovat suuruusluokkia ennen periheliä, pisteet perihelin jälkeen. Kohoutek kirkastui aluksi melko nopeasti (oikea alanurkka). Sitten kirkastuminen hidastui ja perihelin jälkeen komeetta himmeni nopeammin kuin oli kirkastunut. Halley sen sijaan oli perihelin jälkeen kirkkaampi kuin sitä ennen.

komeetta kirkastuu ja myös himmenee. Tuo vakio ei itse asiassa ole vakio, vaan se voi muuttua ja olla erilainen ennen ja jälkeen perihelin. Jos Kohoutek petti yleisönsä, voi syyn sanoa olleen n :ssä. Aluksi Kohoutek kirkastui lähes 7. potenssin mukaan ($n = 6.9$), mutta syksyllä 1973 enää 2.7:n potenssin mukaan. Kahdeksannen magnitudin kohteesta maksimiinsa Kohoutek kirkastui keskimääräisellä n :n arvolla 3.35, mutta himmeni perihelin jälkeen n :n arvolla 4.15. Kohoutek himmeni siten perihelin jälkeen nopeammin kuin kirkastui ennen periheliä.

Tarkastellaan muutamia muita esimerkkejä komeettojen kirkkauden käyttäytymisestä. Suomessakin hienosti näkynyt komeetta Arend-Roland (1957 III) on malliesimerkki siististi käyttäytyvästä komeetasta. Se sekä kirkastui että himmeni yhtä nopeasti, ja kirkkauden saattoi laskea em. kaavasta, kun $n = 4.2$.

Leland Cunningham löysi 5. 9. 1940 Harwardin observatoriosta pyrstötähden, jonka kirkkaus oli 13. Kun siitä saatiin lisää tietoja, voitiin rataelementeistä laskea, että löytöhetkellä komeetta Cunningham oli 2.5 AU:n päässä Auringosta. Periheli olisi 16. 1. 1941, jolloin komeetta olisi 0.37 AU:n päässä Auringosta ja samalla 0.6 AU:n päässä Maasta. Cunningham kirkastui lokakuun loppuun mennessä hyvin nopeasti saavuttaen tuolloin 8. suuruusluokan, vaikka se oli vielä 1.7 AU:n päässä Auringosta. Kirkkaus kasvoi siten peräti etäisyyden r yhdeksännen potenssin mukaan. Niinpä odotettiinkin, että joulun aikaan 1940 Cunningham näkyisi loistavan kirkkaana pyrstötäh-

Vuoden 1940 lopulla havaittu Cunninghamin komeetta käyttäytyi ennen ja jälkeen perihelin suunnilleen samalla tavalla. (Kuva Hale Observatories)

tenä. Ennustukset tehtiin $n:n$ arvolla 6, mikä antoi maksimikirkkaudeksi -2.6 magnitudia. Kuitenkin varoitettiin, ettei kirkkaus välttämättä nouse edes kuudennen potenssin mukaan, mutta perihelissä komeetalla olisi ainakin kirkkaus -0.6 .

Mitä tapahtui? Komeetta Cunninghamin nopea kirkastuminen hidastui katastrofaalisesti marraskuun puolivälissä. Sen jälkeen se kirkastui $r:n$ 1.8:n potenssin mukaan, siis vähemmän kuin kiinteä kappale. Jouluna komeetan kirkkaus oli vaatimattomat 4 suuruusluokkaa (noin kahdeksasosa Pohjantähdestä) ja maksimissaankin vain 3 suuruusluokkaa.

Katoavia komeettoja

Komeetoille Pajdušakova (1954 II) ja Westphal (1913 VI) kävi vieläkin surkeammin. Edellinen löydettiin 3. 12. 1953. Tuolloin se oli 1.46 AU:n päässä Auringosta ja sen kirkkaus oli 11 magnitudia. Perihelissä sen piti olla 24. 1. 1954 vain 0.072 AU:n päässä Auringosta, jolloin sen kirkkaus ennustettiin 0 magnitudiksi ($n:n$ arvolla 4). Vielä $n:n$ arvolla 3.3 olisi komeetan maksimikirkkaus ollut 2. Tammikuun 5. päivään 1954 mennessä komeetan kirkkaus oli noussut 10 magnitudiin ja se oli tullut yhä utumaisemmaksi. Tammikuun 8., 9. ja 10. päivinä si-

tä ei löydetty jälkeäkään Yerkesin eikä Lickin observatorioissa. Eikä sitä nähty enää koskaan sen jälkeenkään.

Komeetta Westphal löydettiin Göttingenissä Saksassa 24. 7. 1852, jolloin sen kirkkaus oli 7–8 magnitudia. Komeetta käyttäytyi normaalisti, ja sitä havaittiin helmikuulle 1853 saakka. Westphalin kiertoaika on 61.2 vuotta. Seuraavalla perihelikäynnillään se löydettiin uudestaan 26. 9. 1913. Löydettyäessä sen kirkkaus oli 8, ja periheliin sen piti tulla 26. 11. Komeetan olisi pitänyt kirkastua lähestyessään periheliä, mutta se himmeni ja varsin nopeasti. Lokakuun alussa sen kirkkaus oli 8–9, puolivälissä noin 10 ja lopussa yli 12 magnitudia. Tuolloin sitä oli vaikea havaita pienehköillä kaukoputkilla. Viimeinen valokuva Westphalista on marraskuun 22. päivästä, ja siinä komeetan kirkkaus on 16–17 magnitudia. Tällöin komeetta oli neljän päivän päässä perihelistään, jossa sen olisi pitänyt olla kirkkaimmillaan. Sen jälkeen ei Westphalia ole nähty, vaikka sen oli määrä olla perihelissä taas vuonna 1975.

Hyvinkäyttäytyvä pyrstötähti oli Bennett (1970 II). Se näkyi Suomessakin komeasti vielä melko kauan perihelinsäkin jälkeen. Bennett kirkastui $n:n$ arvolla 5. Kirkkaus ennen periheliä oli 1–2 magnitudia pienempi kuin vastaavaan aikaan perihelin jälkeen, mikä on komeetoilla varsin yleistä.

Schwassmann-Wachmannin purkaukset

Joillakin pyrstötähdillä on melkoisia kirkkausvaihteluja. Tällainen on mm. lähes ympyräradalla kulkeva Schwassmann-Wachmann I, jolle ei ole annettu vuosilukua eikä roomalaista numeroa, sillä se on havaittavissa suurilla kaukoputkilla ratansa joka kohdassa kuten komeetta Enckekin. Schwassmann-Wachmann I:n perihelietäisyys on 5.5 AU ja kiertoaika 16.1 v. Sen kirkkaus on yleensä noin 18 magnitudia, mutta silloin tällöin se kirkastuu purkauksenomaisesti 100–1000-kertaisesti. Komeetta saavuttaa maksimikirkkauden nopeasti ja himmenee vähitellen taas 18. magnitudiin. Ollessaan himmeimmillään se on lähes tähtimäinen, mutta purkauksen yhteydessä se saa komeetan pään tyypillisen utuisen muodon.

Purkauksia Schwassmann-Wachmann I:ssä tapahtuu kerran pari vuodessa tai kahdessa, mutta 1972 havaittiin neljä kirkastumista ja 1978 peräti viisi. Purkauksissa komeetan kirkkaus on noussut 12–14 magnitudiin, ja tammi–helmikuun vaihteessa 1979 jopa 11 magnitudiin. Joulukuussa 1979 alkoi uusi purkaus, joka jatkui helmikuuhun 1980 asti. Helmikuun alussa 1980 Schwassmann-Wachmann I:n kirkkaus oli 11.5 ja koman halkaisija kuun puolivälissä peräti 5 kaariminuuttia. Kun komeetan etäisyys Auringosta oli 6.2 AU ja Maasta 5.2

AU, oli komeetan todellinen halkaisija 1.1 miljoonaa kilometriä (yli 3/4 Auringon halkaisijaa). Helmikuun 19. päivänä ei komahuntua enää näkynyt. Tällä komeetalla ei ole koskaan nähty pyrstöä.

Tuttle-Giacobini-Kresakin purkaukset

Vielä mahtavampi purkaus oli jaksollisessa pyrstötähdessä Tuttle-Giacobini-Kresakissa (1973 VI). Komeetan löysi alun perin Tuttle toukokuussa 1858. Yhdeksän kierrosta myöhemmin sen löysi uudelleen Giacobini 1907 ja taas kahdeksan kierroksen kuluttua L. Kresak 1951. Komeetan kiertoaika on noin 5.5 vuotta. Vuoden 1951 jälkeen sitä on havaittu vuosina 1962, 1973 ja 1978. Vuonna 1962 komeetan maksimikirkkaus oli 9 ja vuonna 1978 15 suuruusluokkaa.

Huhtikuun 1973 lopussa oli komeetan kirkkaus 18 magnitudia. Lähestyessään periheliään toukokuun lopulla komeetan piti kirkastua tasaisesti 13. magnitudiin. Toukokuun 20. päivänä sen kirkkaus oli 14 ja kolme päivää myöhemmin jo 12 mag. Sitten toukokuun 27. päivänä saksalainen tähtitieteen harrastaja F. Seiler Münchenistä otti valokuvan komeetasta. Siinä sen kirkkaus oli peräti 4 magnitudia. Kirkkaus oli viikossa kasvanut 10 000-kertaiseksi! Kesäkuun puoliväliin mennessä komeetta oli himmentynyt taas 13. suuruusluokkaan.

Tšekkoslovakiassa M. Antal, joka riippumattomasti havaitsi tämän kirkastumisen, näki heinäkuun 6. päivänä toisen purkauksen,

Oct 12

Oct 18

Nov 3

Schwassmann-Wachmann 1:n purkaus. Vasemmassa kuvassa komeetta on tähtimäinen. Koska ydin pyörii, nähdään oikeanpuoleisissa kuvissa spiraalirakennetta ytimen ympärillä. (Kuva U. S. Naval Observatory)

jossa Tuttle-Giacobini-Kresakin kirkkaus kasvoi myös lähes 10 magnitudia. Heinäkuun 4. päivänä komeetan kirkkaus oli 14–15 ja vajaa kolme päivää myöhemmin noin 5. Pari päivää myöhemmin komeetta oli taas himmentynyt noin 10. magnitudiin.

Komeettojen kirkkauden käyttäytyminen on siten välillä hyvin odottamatonta. Kuuluisa komeettatähtitieteilijä Fred Whipple kehottaakin: "Jos sinun täytyy lyödä vetoa, lyö hevosista, älä komeetoista."

Komeettojen himmeneminen

Auringon läheisyydessä komeetan ytimestä irronnut materia leviää avaruuteen, ja komeetan poistuessa Auringon läheltä sen massa on pienentynyt jonkin verran. Näin komeetat menettävät jokaisella periheliohituksellaan materiaa ja ovat seuraavalla vierailullaan yleensä vähän himmeämpiä.

Komeettojen vähittäistä himmenemistä on tutkittu varsinkin useita kertoja näkyneillä jaksollisilla komeetoilla. Halley'n komeetta on viimeisen runsaan tuhannen vuoden aikana heikentynyt noin 2.5 suuruusluokkaa. Vuonna 760 sen valovoima oli noin 11-kertainen vuoden 1910 valovoimaan verrattuna. Lyhytjaksoinen komeetta Encke on 168 vuodessa (51 periheliohituksessa) himmentynyt noin sadanteen osaan (5 suuruusluokkaa). Yhtä paljon on Pons-Winnecke himmentynyt 132 vuodessa (22 periheliohituksessa). Komeetta Wolf on himmentynyt noin kuudessadasosaan 10 periheliohituksessa (66

Komeettaytimen malli B. Donnin ja J. Rahen mukaan. Ytimessä on kaikenkokoisia osasia, jotka koostuvat pienistä jää- ja pölyhiukkasista. Jokin osa voi olla herkempi höyrystymään, ja sen äkillinen purkaus saattaa kirkastaa komeetan. Myös ytimen halkeaminen tai suurehkojen osien irtoaminen olisi tämän mallin mukaan helpompi selittää. (Piirros Wilkeningin kirjasta Comets)

vuodessa), vaikka sen perihelietäisyys on niinkin suuri kuin 1.6 AU. Sen sijaan komeetta Giacobini-Zinner oli lähes yhtä kirkas 1946 kuin seitsemän kierrosta aikaisemmin vuonna 1900.

Komeetan kirkkauden käyttäytyminen niin lyhyellä aikavälillä kuin vuosisatojen kuluessa riippuu ilmeisesti komeetan ytimen rakenteesta. Pyrstötähtien ytimen koko, tiheys, koostumus jne. vaihtelee. Kukin pyrstötähti on oma yksilönsä. Toiset komeetat ovat hyvin kiinteitä ja tasa-aineisia, jolloin niiden kirkastuminen on tarkasti ennakoitavissa. Toiset taas ovat hauraita, niissä on eriaineisia osia tai ehkä erilaisia kerrostumia, ja tällöin Auringon lämmön vaikutus on vaikeasti arvattavissa.

Voimakkaiden purkausten aikaan komeetasta ilmeisesti paljastuu jokin tuore pinta, jossa on paljon haihtuvia aineita, ja nopea haihtuminen näkyy koko komeetan kirkastumisena. Tai sitten tumman pin-

Kahden komeetan, P/Encken ja P/Pons-Winnecken, absoluuttisen suuruusluokan pieneneminen ajan mukaan.

Komeetta Humasonilla (1962 VIII) tapahtui heinäkuussa 1962 ytimessä voimakas purkaus. Kuvat on otettu yhden päivän välein. (Kuvat U. S. Naval Observatory)

nan alla on haihtuvampien aineosien kasautuma, joka lämmitessään kerää painetta ja kriittisen pisteen ohitettuaan purkautuu pölyineen ja kaasuiheen tulivuoren lailla ytimeä kirkastaen komeetan. Hauraat komeetat taas voivat haljeta tai hajota pienempiin, nopeasti haihtuviin osiin, jolloin pyrstötähden nähdään hajoavan tai katoavan kokonaan.

11. Komeettojen syntyteoriat

Kun ryhdymme pohtimaan komeettojen alkuperää, meillä on kaksi tärkeää vihjettä: komeettojen radat ja komeettojen kemiallinen koostumus. Kemiallisesti komeetat muistuttavat tähtienvälistä ainetta tai sitä ainetta, josta aurinkokuntakin aikoinaan tiivistyi. Ne ovat aivan ilmeisesti jäänteitä tiivistymisprosessista, joka johtaa tähtien ja niiden planeettojen syntyyn.

Mutta syntyivätkö komeettamme samalla kertaa ja samasta alkusumusta kuin muu aurinkokunta, onkin jo toinen ja toistaiseksi ratkaisematon kysymys. Näytteen saaminen komeetasta ja sen tarkka kemiallinen analyysi voisi periaatteessa selvittää, onko komeettamateria kemiallisesti tarkalleen samaa ainetta kuin muu materia aurinkokunnassa vai ovatko erot niin suuria, että ne vaativat komeettojen syntyneen eri pilvessä ja eri aikaan kuin muut aurinkokunnan kappaleet.

Toistaiseksi joudumme kuitenkin turvautumaan pääasiassa komeettojen ratojen antamaan tietoon, kun pyrimme komeettojen syntyongelman ratkaisuun. Tähän mennessä esitetyt syntyteoriat voidaan jakaa neljään selvään ryhmään:

- 1) Komeetat ovat syntyneet aurinkokunnan vaikutusalueen ulkopuolella tähtienvälisessä avaruudessa, josta Aurinko sieppaa ne kiertolaisikseen. Näitä teorioita voi kutsua *tähtienväliseksi syntyteorioiksi*.
- 2) Komeetat syntyvät Auringon vetovoiman vaikutuksesta kerääntymällä, kun Aurinko kulkee tähtienvälisen pölypilven läpi. Tätä teoriaa kutsutaan *kerääntymisteoriaksi*.
- 3) Komeetat syntyvät planeettojen ja niiden kuiden pinnalta valta-vien tulivuorenpurkauksien yhteydessä. Tätä teoriaa sanotaan *purkausteoriaksi*.
- 4) Komeetat ovat syntyneet aurinkokunnan muiden jäsenten kanssa yhtä aikaa, mutta planeettojen häiriöt ovat ajaneet ne aurinkokunnan keskustan ulkopuolelle suureksi pilveksi. Tätä teoriaa sanotaan *komeettapilviteoriaksi*.

Näiden neljän ryhmän lisäksi on aikojen kuluessa esitetty monia muitakin arveluja komeettojen synnystä (esim. komeetat ovat synty-

Ovatko komeetat syntyneet Auringon lähellä samaan aikaan kuin muu aurinkokunta vai ovatko ne tähtienvälisestä avaruudesta siepattuja? Vastausta ei varmasti tiedetä. Kuvassa Brooksia komeetan pää 21. 10. 1911. (Kuva Lick Observatory)

neet Auringon purkauksista tai asteroidien yhteentörmäyksistä), mutta ne on yleensä voitu osoittaa vääriksi.

Seuraavassa tarkastellaan lähemmin kutakin teoriaa.

Tähtienväliset syntyteoriat

Komeettojen tähtienvälisen syntyteorioiden puolustajat olettavat, että tähtienvälisessä avaruudessa on valtavia komeettapilviä. Tähtienvälistä syntyä puolustivat 1700-luvulla mm. Laplace ja von See-liger. He eivät kuitenkaan ottaneet huomioon Auringon liikettä avaruudessa, vaan olettivat komeettapilvien nopeuden Auringon suhteen nollassi. Tällä oletuksella ei ole mitään vaikeuksia selittää komeettojen sieppauksia.

Koska kuitenkin Aurinko liikkuu avaruudessa, sen täytyy liikkua myös tähtienvälisen komeettapilvien suhteen. Nyt ongelma muuttuu vaikeammaksi. Auringon lähitähdet liikkuvat Auringon suhteen tyyppillisesti 20 kilometrin sekuntinopeudella. Siksi komeettapilvien suhteellisten nopeuksien pitäisi olla samaa luokkaa. Auringon liikkeessa komeettapilvien läpi näkyisi aurinkokunnan keskustassa nopeita komeettoja. Niiden pitäisi lähes kaikkien olla hyperbeliradoilla, joiden ”alkuperäiset” nopeudet ovat juuri 20 km/s luokkaa.

Hyperbolisia komeettojahan on havaittu, mutta niiden nopeudet kaukana aurinkokunnan keskustasta ovat yleensä paljon alle 1 km/s. Suurin nopeus on ollut komeetalla 1886 III, joka kaukana kiiti noin 4 kilometrin sekuntinopeudella — siis huomattavasti hitaammin kuin Auringon lähiympäristön tähdet ja pilvet.

Meidän on siis todettava, että emme ole havainneet toistaiseksi ainoatakaan selvästi tähtienvälistä komeettaa. Tämä todistaa sen puolesta, että tähtienvälisessä avaruudessa komeettojen lukumäärä on verraten alhainen. (Jonkin verran niitä varmasti on, koska joka vuosi näemme komeettojen pakenevan ulos aurinkokunnasta planeettojen aiheuttamien ratahäiriöiden vuoksi, ja luultavasti muidenkin tähtien ympärillä tapahtuu samanlaista komeettavuotoa.)

Tähtienvälisen teorioitten puolustajat eivät ole näistä laskelmista kuitenkaan lannistuneet. He ovat todenneet, että hyvä on, *tällä hetkellä* ei tähtienvälisiä komeettoja näy. Mutta aurinkokunnan historiassa on voinut olla aikoja, jolloin olemme kulkeneet todella tiheiden komeetta-alueiden läpi, ja nykyisetkin komeetat ovat tuonaikaisten sieppausten tulosta. Näihin ajatuksiin palaamme vielä seuraavassa luvussa.

Kerääntymisteoria

Kerääntymisteorian selityksenä komeettojen synnylle esitti vuoden

1950 paikkeilla englantilainen tähtitieteilijä R.A. Lyttleton. Sen perustana olivat Hoynen ja Bondin tutkimukset, jotka koskivat sitä, miten tähti voi siepata kaasumolekyylejä tähtienvälisistä pilvistä. Lyttleton laajensi tutkimuksen koskemaan pölypilviä ja sai tulokseksi komeetat.

Tähtienvälisessä avaruudessa liikkuu pöly- ja kaasupilviä. Auringon kulkiessa tällaisen pölypilven läpi pilven hiukkaset kulkevat pitkin hyperbelejä, jotka eri puolilta Aurinkoa tulevilla hiukkasilla leikkaavat toisensa Auringon takana. Tätä leikkausakselia, joka kulkee Auringon keskipisteen kautta ja on Auringon nopeusvektorin suuntainen, sanotaan kerääntymisakseliksi, ja siinä tapahtuu hiukkasten törmäämisiä.

Törmäävien hiukkasten nopeus akselin suuntaan on edelleen sama kuin alkuperäisen pilven nopeus, mutta akselia vastaan kohtisuoraan olevat nopeudet kumoutuvat törmäyksessä ja hiukkaset jäävät kulkemaan pitkin akselia. Akselille kerääntyy hiukkaspilvi, jonka tiheys on hyvin suuri alkuperäisen pölypilven tiheyteen verrattuna. Pilvi liikkuu aluksi Auringosta poispäin. Mutta Auringon vetovoima hidastaa nopeutta, ja tietystä etäisyydestä lähtien hiukkaset jäävät Auringon vetovoiman piiriin.

Koska kaukana Auringosta pilven sisäinen vetovoima on suurempi kuin Auringon häiriövaikutus, syntyy pilven tiivistymiä, komeettojen alkumuotoja. Kun nyt nämä pölytiivistymät, komeetat, putoavat aurinkokunnan keskustaa kohti, niiden nopeus ei ole suunnattu kohti Auringon keskipistettä, vaan kohti aurinkokunnan painopistettä. Tämän painopisteen paikka on keskimäärin 1.07 Auringon säteen päässä keskipisteestä, eli Auringon ulkopuolella. Siksi putoavista ko-

Kerääntymisteorian mukaan komeetat ovat peräisin tähtienvälisistä pöly- ja kaasupilvistä, joiden läpi Aurinko kulkee.

meetoista osa ohittaa läheltä Auringon, vaikka osa putoaakin suoraan Aurinkoon.

Nyt astuvat planeettojen häiriöt mukaan kuvaan. Niiden vaikutuksesta soikeiden komeettaratojen perihelipiste liikkuu ja muoto voi muuttua pyöreämmäksi, niin että vähitellen syntyy mitä moninaisimpia ratoja.

Kerääntymisteorioiden mukaan komeetta on yksittäisistä pienistä hiukkaista muodostunut pilvi, "hiekkakasa". Havainnot näyttävät kuitenkin osoittavan, että komeetan ydin on jäistä muodostunut kappale, jolla on tietty lujuus ja joka voi esimerkiksi pinnalta höyrystyä tai kokonaan haljeta. Tämä sotii kerääntymisteoriaa vastaan, ja siksi teoria ei ole juuri saavuttanut kannatusta.

Purkausteoria

Kun neuvostoliittolainen komeettatutkija S.K. Vsehsvjatski jo 1930-luvulla havaitsi tutkimuksissaan, miten lyhyet komeettojen eliniät ovat (tyypillisesti kymmeniä tai satoja, korkeintaan tuhansia kierroksia), hän hylkäsi muut syntyajatuksat ja lähti etsimään aurinkokunnan sisässä edelleen jatkuvaa ilmiötä, joka tuottaisi uusia komeettoja. Ainoana mahdollisuutena hän näki, että komeettoja, samoin kuin meteoroidoja, syntyy valtavissa tulivuorenpurkauksissa planeettojen ja niiden kuiden pinnalla. Erityisen aktiivisia ovat Jupiter ja sen kuut, mikä selittäisi Jupiterin komeettaperheen.

Vsehsvjatski on myös kiinnittänyt huomiota siihen, että hyvin monet lyhytjaksoiset pyrstötähdet ovat puoli tai puolitoista kierrosta ennen niiden havaitsemista olleet aivan Jupiterin lähellä. Vsehsvjatski on löytänyt yli 35 tällaista komeettaa. Hänen mukaansa tätä ei enää voi pitää sattumana.

Suurimpana vastaväitteenä Vsehsvjatskin teorialle on esitetty todisteiden puute tarpeeksi voimakkaiden purkausten olemassaolosta.

Professori S. K. Vsehsvjatski pitää tulivuorten löytämistä Jupiterin kuun Ion pinnalta todisteena purkausteorialleen. (Kuva Nasa/Voyager 1)

Maapallolla sellaisia ei ole havaittu (vaikka Vsehsvjatski muistuttaa mieleen Krakatoan purkauksen v. 1883), ja Kuu on nykyisellään kuollut kiertolainen (vaikka onkin menneisyydessä voinut olla aktiivisempi).

Kun Jupiterin kuun Ion pinnalta löytyi 1979 voimakasta tulivuoritoimintaa, Vsehsvjatski muistutteli tyytyväisenä mieliin teoriansa ennustuksia. Tästä löydöstä huolimatta purkausteoriaan suhtaudutaan edelleen hyvin epäillen, sillä Ionkaan purkauksissa ei avaruuteen toki sinkoa "likaisia lumipalloja", vaan ainoastaan harvaa kaasua.

Komeettapilviteoria

Komeettapilviteoriaa esiteltiin jo hieman komeettojen ratoja koskevassa luvussa. Teorian kehitti hollantilainen tähtitieteilijä Jan Oort vuoden 1950 paikkeilla. Häntä ennen oli van Woerkom laajalti tutkinut samaa kysymystä.

Oortin alkuperäisiin laskelmiin kohdistettiin myöhemmin melkoista arvostelua (asialla oli varsinkin edellämainittu R.A. Lyttleton), ja esimerkiksi LePoole ja Katgert muotoilivat uudelleen teorian perusteluja.

Komeettapilviteorian mukaan komeettojen synty ja kehitys voidaan esittää seuraavasti.

Komeetat syntyivät samalla kun aurinkokunnan muut jäsenet, ehkä jossakin aurinkokunnan ulko-osissa, jossa vieläkin on lähes puhtaasta jäästä muodostuneita kuita. Komeetat kiersivät kaikenlaisten muiden jätteiden kanssa planeettojen seassa, mutta koska niiden massat olivat planeettoihin verrattuna pieniä, häiriöt vaikuttivat niihin voimakkaasti. Planeettojen häiriöt saavat aikaan sen, että komeetan energia muuttuu kullakin perihelikäynnillä. Koska häiriöt sattuvat lähellä periheliä, sen paikka ei juuri muutu. Sen sijaan aphelipisteet siirtyvät kauemmaksi tai lähemmäksi Aurinkoa ja ratojen eksentrisyydet muuttuvat. Lyhytjaksoiset komeetat hajoavat melko nopeasti ja niiden hiukkaset ajautuvat vähitellen Aurinkoon. Osa komeetoista saa hyperbolisen nopeuden ja katoaa aurinkokunnasta. Pieni osa Auringon lähellä alun perin kierteineistä komeetoista kuitenkin joutuu alueelle, jolla tähtien vaikutus alkaa tuntua.

Nyt lähimmät tähdet ja Linnunradan massa aiheuttavat sellaisia häiriöitä, että periheli siirtyy aurinkokunnan keskustan ulkopuolelle, jonne planeettojen häiriöt eivät ulotu. Näin on tultu tilanteeseen, jossa komeetta on yhden kierroksen aikana suunnilleen pysyvällä radalla, koska sekä planeettojen että tähtien häiriöt ovat vähäiset. Aikojen kuluessa tähtien vaikutuksesta ulommat komeetat katoavat, niin että pilven ulkoreuna tulee etäisyydelle 100 000 AU. Pilven komeetat

kiertävät yleensä hyvin eksentrisiä ratoja, joiden kaltevuuksien jakautuma on vähitellen tullut suunnilleen umpimähkäiseksi.

Komeettojen siirtyminen radalta toiselle. Planeettojen häiriöt siirtävät komeettoja pitkin ehjiä nuolia, lähitähdet ja Linnunradan keskusta pitkin katkonuolia. Varjostetut laatikot kuvaavat komeettoja, joita on mahdotonta tai hyvin vaikeaa havaita maapallolta. Kolmessa valkoisessa laatikossa ovat helposti havaittavat komeetat. Nämä myös hajoavat nopeasti Auringon lämmössä. Suure q on komeetan perihelietäisyys ja i radan inkliinaatio (vrt. pikkukuvat). (Kaavio mukailtu E. Everhartin artikkelista Wilkeningin toimittamassa kirjassa Comets)

Lyhytjaksoisten komeettojen synty

Komeettapilviteoria antaa hyvän selityksen Auringon ympärillä leviävälle Oortin pilvelle. Mutta yrittäessään selittää lyhytjaksoisten komeettojen, varsinkin Jupiterin komeettaperheen, syntymistä teoria joutuu vaikeuksiin. Sama vaikeus on kaikissa teorioissa, jotka olettavat komeettojen tulevan kaukaa aurinkokunnan keskustan ulkopuolelta.

Kuten edellisestä luvusta näimme, komeettojen eliniät Auringon lähellä ovat suhteellisen lyhyet. Jaksolliset pyrstötähdet voivat käydä korkeintaan muutamia satoja tai tuhansia kertoja perihelissään, ennen kuin Auringon lämpö on haihduttanut niiden kaiken jään.

Lyhytjaksoisia komeettoja tunnetaan kuitenkin satakunta. Niiden täytyy olla kaikkien nuoria, vastikään aurinkokunnan keskustaan joutuneita, ja siksi jossakin täytyy olla tehokas sieppausväline, joka siirtää komeettoja Oortin pilvestä lyhyille kiertoradoille.

Luonnollisimpia sieppaajia ovat jättiläisplaneetat. Ne pystyvät muuttamaan lähes hyperbolisen radan pieneksi ellipsiksi. Laskut kuitenkin osoittavat, että esimerkiksi Jupiterin välityksellä tapahtuu aivan liian harvoin sieppauksia koko komeettaperheen selittämiseksi.

Orgelman mahdollinen vastaus on alkanut seljetä vasta 1970-luvulla varsinkin amerikkalaisen Edgar Everhartin tutkimusten tuloksena. Everhart on tietokonesimuloinneissa pannut joukoittain komeettoja liikkeelle mitä erilaisimmille radoille aurinkokunnassa. Hän on huomannut, että komeettoja täytyy olla aurinkokunnan piirissä suuria määriä myös muunlaisilla radoilla kuin pitkäjaksoisilla paraabelimaisilla radoilla tai lyhytjaksoisilla ellipsiradoilla. Komeettoja on Jupiterin takana erilaisilla ympyröillä, ellipseillä, "hevosenkärädoilla" ja muilla harvinaisilla, väliaikaisilla radoilla suuret varastot. Kaikille tällaisille radoille komeettoja voi hitaasti tihkua Oortin pilvestä jättiläisplaneettojen vetovoiman vaikutuksesta.

Täältä aurinkokunnan ulko-osista on komeettojen siirtyminen aurinkokunnan keskiosiin paljon helpompaa kuin suoraan Oortin pilvestä. Näin pitkäjaksoisten ja lyhytjaksoisten komeettojen määrässä ollut ristiriita on ratkaistu "väliaikaisen" komeettavaraston avulla, joka toistaiseksi on havaintojen ulkopuolella Jupiterin radan takana.

Komeettapilviteoriassa on edelleen paljon selvittämättömiä yksityiskohtia, mutta pääpiirteissään sitä pidetään ehdottomasti parhaana syntyteorianana. Yhdessä Whiplen lumipallomallin kanssa se tarjoaa selvän ja perustellun teorian pyrstötähtien rakenteelle ja kehitykselle.

12. Komeetat ja maapallo

Kirjamme alussa esitettiin, miten pyrstötähtiä on kautta aikojen pidetty pahanenteinä ja onnettomuuksien tuojana. Luonnontieteiden kehittyessä luopuivat valistuneet ihmiset näistä käsityksistä, ja pyrstötähtiä alettiin pitää luonnollisina taivaankappaleina muiden taivaankappaleiden joukossa.

Viime aikoina on käsityksissä jouduttu taas tekemään käännös. Komeetat eivät ehkä olekaan niin irrallisia ja maapallosta riippumattomia kappaleita, kuin on uskottu. Ne voivat todella tuoda Maahan tuhoa ja hävitystä.

Monet viime aikoina esitetyistä ajatuksista ovat vielä melko puhdasta spekulatiota. Mutta ainakin komeettamaisten kappalten törmäyksistä maapalloon on jo aivan konkreettista näyttöä.

Palaamme aluksi komeettojen tähtienväliseen syntyteoriaan.

Komeettamyrskyt

Linnunrata, jonka läpi Aurinko vaeltaa, ei ole samanlainen joka paikasta. Toisilla alueilla on runsaasti tähtienvälisen kaasun pilviä, kun taas Auringon tämänhetkisellä alueella on pilviä keskimääräistä vähemmän. Jos komeettojen synty tapahtuu näissä pilvissä, silloin myös komeettojen määrä Auringon ympäristössä vaihtelee ajan mukana. Ja komeettojen sieppaus aurinkokuntaan olisi ilmiö, joka tapahtuisi pääasiassa Auringon kulkiessa pilvialueiden läpi.

Näytteen saaminen komeetasta toisi lisävalaistusta tähänkin asiaan. Jos näytteelle voitaisiin suorittaa iänmääritys, nähtäisiin ovatko komeetat samanikäisiä kuin aurinkokunta vai verrattain nuoria taivaankappaleita.

Tätä ideaa komeettojen synnystä tähtienvälisissä pilvissä on kehitetty edelleen. Kaasupilvet jakautuvat Linnunradassa pääasiassa nauhamaisille alueille, joita kutsutaan kierteishaaroiksi. Ne juuri antavat spiraaligalakseille niiden kiehtovan ulkonäön, josta näiden galaksien nimikin johtuu.

Jokaisella kaksisataa miljoonaa vuotta kestävällä kierroksellaan Linnunradan keskustan ympäri Aurinko kulkee spiraalihaaran läpi, eikä tällöin voine välttää joutumista kaasupilven sisälle. Jos pilvissä

Erilaisia komeettatyppejä Mallet'n kirjasta *Description de L'Universe*, 1683.

on komeettoja, niiden sieppauksia tulisi tapahtua samoin 200 miljoonan vuoden väliajoin.

Näin joudutaan käsitykseen, jonka mukaan Aurinko saa uuden komeettaparven (Oortin pilven) kerran galaktisessa vuodessa, so. kerran kunkin Linnunradan kierroksen aikana. Sen jälkeen parven jäsenmäärä nopeasti alenee kun komeetat sinkoutuvat takaisin tähtienväliseen avaruuteen, kunnes muutaman kymmenen miljoonan vuoden kuluttua komeetat ovat lähes tyystin hävinneet. Seuraavan galaktisen vuoden alussa Aurinko sitten taas poimii uuden komeettaparven. Tämän käsityksen mukaan Aurinko sai nykyiset komeettansa vain muutama miljoona vuotta sitten kulkiessaan erään kaasupilven läpi.

Sieppaus ja seuralainen

Komeetan sieppaaminen tähtienvälisestä avaruudesta ei ole helppoa. On voitu osoittaa, että kokonaisen Oortin pilven vangitseminen onnistuu vain, jos Auringolla on toistaiseksi tuntematon seuralaistähti, jonka vetovoima auttaa ohikulkevien komeettojen jarruttamisessa. Jos oletettu seuralainen on alle 0.08 Auringon massainen kääpiötähti, siinä ei tapahdu ydinreaktioiden aiheuttamaa energiantuotantoa. Silloin tähti on niin viileä, että se on voinut jäädä huomaamatta. Äskettäin avaruuteen lähetetyn infrapunatekokuun IRAS:n eräänä tehtävänä on etsiä tätä pimeää seuralaista sen lähettämän lämpösäteilyn perusteella. Seuralaisen radan on arveltu olevan kaukana Pluton radan takana, ehkä noin 10 000 AU:n etäisyydellä Auringosta. Jos kääpiötähteä ei löydy, on vielä mahdollista, joskin vähemmän todennäköistä, että Auringolla on seuralaisenaan kylmä neutronitähti tai musta aukko.

Seuralaisen olemassaolo on ratkaiseva testi komeettojen syntyteorioitten kannalta. Jos Auringolla on seuralainen, silloin komeetat eivät pysy Oortin pilvessä riittävän kauan, jotta ne voisivat olla yhtä vanhoja kuin muu aurinkokunta. Jos taas voidaan osoittaa, että Aurinko on yksinäinen tähti, silloin komeettojen täytyy melko varmasti olla peräisin aurinkokunnan syntyajoilta.

Komeettojen törmäykset

Komeetoilla on meille muutakin merkitystä kuin taivaan valoilmiöinä. Silloin tällöin komeetta törmää maapalloon varsin voimakkein seurauksin. Täysikokoisten komeettojen törmäyksiä ei ole historiallisina aikoina havaittu, ja niitä on laskettu tapahtuvan melko harvoin, ehkä kerran miljoonissa vuosissa.

Maapallon ilmakehään sataa sen sijaan joka vuorokausi pieniä "lumipalloja", ehkä muutamien metrien läpimittaisia. Ne aiheuttavat

Ranskalainen piirros vuodelta 1857 kuvaa komeetan törmäystä maapalloon.

ilmakehässä komean tulipallon, ennen kuin ne kokonaan hajoavat. Näiden parimetristen, hyvin harva-aineisten kappaleiden on arveltu olevan särkyneiden komeettojen palasia.

Yhden kerran tällä vuosisadalla on maapalloon osunut suurempi lumipallo, läpimitaltaan puolisen kilometriä. Tämä on komeetaksi vielä pieni läpimitta, mutta jo puolikilometrinen kappale saa aikaan suurta tuhoa.

Komeetta osui maapalloon kesäkuun 30. päivänä 1908 asumatoman metsän yläpuolella Siperiassa. Osumispaikka on Tunguska-joen latvoilla, ja siksi tapausta on sanottu Tunguskan räjähdykseksi.

Kun suuri lumipallo tulee ilmakehään kymmenien kilometrien sekuntinopeudella, sen etuosa kuumenee hetkessä hehkuvaksi plasmaksi, ja koko komeetta alkaa höyrystyä. Tunguskan komeetta ei saavuttanut maanpintaa, vaan räjähti ilmakehässä 5–10 km korkeudella. Räjähdys vastasi voimaltaan suuren vetypommin tehoa.

Jos räjähdys olisi sattunut Helsingin yllä, koko pääkaupunki olisi tuhoutunut täydellisesti räjähdyskuumuudessa, paineaallossa ja myrskytuudessa. Kahdenkymmenen kilometrin säteellä olisi pystyssä vain muutama ehjä seinä ja jokunen pystyyn kärventynyt metsikkö.

Tunguskan räjähdys sattui onneksi asumattoman taigan yllä. Metsää ja eläimistöä tuhoutui laajalti, mutta yhdenkään ihmisen ei tiedetä kuolleen.

Komeetat ja evoluutio

Maapalloon törmäävän kappaleen tuhovaikutus kasvaa sen massan kasvaessa. Tyypillisen 5 km läpimittaisen komeetan massa on tuhat

kertaa niin suuri kuin Tunguskan komeetan massa, ja siksi myös sellaisen vaikutukset ovat vielä monin verroin pahemmat.

Törmäyksen vaikutuksesta maan ilmakehään saattaa nousta niin paljon pölyä, että ilmasto muuttuu koko maapallolla. Tällä taas saat-
taa olla erittäin vakavia seurauksia elollisen luonnon tasapainolle; on jopa ehdotettu, että komeetat on se perimmäinen voima, joka ajaa luonnon evoluutiota ja on vastuussa niistä olosuhteiden muutoksista, jotka vaativat yhä uusien ja paremmin sopeutuvien lajien kehitystä.

Jos komeettojen määrä kasvaa jyrkästi jokaisen galaktisen vuoden alussa, silloin myös maahan törmäävien komeettojen määrä kasvaa vastaavasti. Näin uusi galaktinen vuosi voisi alkaa luonnonmullistuksilla, jotka näkyvät myös uuden maailmankauden alkuna maapallon historiassa.

Viimeinen tällainen suuri mullistus tapahtui ilmeisesti 65 miljoonaa vuotta sitten. Tällöin hävisivät geologisen historian mittakaavassa yhtäkkiä mm. dinosaurukset, jotka olivat hallinneet maapalloa yli 100 miljoonan vuoden ajan. Samaan aikaan hävisivät myös monet pienet meren eläinlajit, kuten ammoniitit, sekä suuret merihirviöt plesiosaurukset. Jotain katastrofaalista ilmeisesti tapahtui koko maapallon laajuudelta näihin aikoihin.

Vihjeen 65 miljoonan vuoden takaisista tapahtumista antaa sedimenttikerros, joka on jäänyt tältä aikakaudelta. Se on punaruskea savikerros, joka erottaa liitukauden ja tertiäärikauden geologiset kerrostumat. Saven kemiallinen analyysi osoittaa, että se ei luultavasti

Komeetan törmäyksen jälkiä: Tunguskan räjähdyksessä 1908 kaatunutta metsää.

ole maapallolta peräisin: siinä on monisatakertainen määrä iridium-alkuainetta maapallon materiaan verrattuna.

Ilmeisestikin iridiumipitoinen komeetta (tai pikkuplaneetta), läpimitaltaan noin kymmenen kilometrin paikkeilla, iskeytyi maapalloon 65 miljoonaa vuotta sitten. Se nosti ilmaan pölypilven, jossa oli noin sata kertaa enemmän ainetta kuin itse komeetassa. Tämä pöly muodosti laskeuduttuaan sedimenttikerroksen, joka on yhä havaittavissa eri puolilla maapalloa ja jonka voi tunnistaa osittain maapallon ulkopuolelta tulleeeksi iridiumin runsauden perusteella.

Pölypilven on arveltu jääneen ilmakehään vuosikausiksi. On laskettu, että pöly peitti Auringon näkyvistä noin neljän vuoden ajan. Näin pitkä yö pani monien lajien sopeutumiskyvyn kovalle koetukselle: suuret dinosaurukset eivät saaneet kasviravintoa ja kuolivat nälkään, lihansyöjillä oli aluksi runsaasti saalista, mutta pitkä yö verotti niidenkin ruokavarastoja. Pienet nisäkkäät näyttävät selvinneen parhaiten uuden päivän koittoon asti.

Törmäyksestä olisi pitänyt jäädä jäljelle 150–200 km läpimittainen kraatteri. Vaikka useita suuria maapallon kraattereita tunnetaankin, sopivan ikäistä ei ole toistaiseksi löydetty. Ehkä kyseinen kraatteri on myöhemmissä mannerten liikkeissä peittynyt tai vajonnut meren alle.

Komeetat, elämä ja flunssa

Vähäpätöiset komeetat voivat siis näytellä huomattavaa roolia eläin- ja kasvikunnan evoluutiossa muuttamalla ajoittain maapallon olosuhteita. Mutta myös paljon suoranaisempi ja pelottavampi komeettojen vaikutus on ollut esillä. On esitetty, että komeetat saattavat kuljetttaa yksinkertaista elämää uumenissaan, ja tämä elämä voi päästä vapaaksi ja levitä mm. maapallolle, kun komeetan suojaavat ulkokerrokset sulavat Auringon ohituksen aikana. Fred Hoyle ja Chandra Wickramasinghe ovat laskeneet, että komeetan sisältämä radioaktiivinen alumiini kehittää niin paljon lämpöä, että sen keskustan lumi sulaa vedeksi. Tässä lämpimässä vedessä kukoistaisi yksinkertainen elämä.

Charles Darwin arveli elämän syntyneen jossain pienessä lämpimässä lätkössä maapallon historian alkuaikoina. Hoyle ja Wickramasinghe tarjoavat ehkä kilometrin läpimittaista lätkköä komeetan sisällä elämän syntyalueeksi. Eräs biljoonista komeetoista toi elämän maapallolle noin neljä miljardia vuotta sitten tämän käsityksen mukaan.

Mutta ei tässä kaikki. Yhä uudet komeetat levittäisivät tämän teorian mukaan yhä uusia viruksia ja muita elämän muotoja maapallolle.

13. Miten Halley näkyy

Selostimme kirjamme alkuosassa, luvussa 3, Halley'n pyrstötähden aikaisempia vierailuja. Nyt alkaneen vuoden 1986 perihelikäynnin radan laskivat ensimmäisinä tarkasti amerikkalaiset J. L. Brady ja E. Carpenter vuonna 1967.

Tarkat ratalaskut

Brady ja Carpenter ottivat huomioon kaikkien planeettojen häiriöt ja saivat Halley'n seuraavaksi perihelihetkeksi helmikuun 5. päivän 1986. Laskuissa ei ollut kuitenkaan mukana ei-gravitationaalisten eli jään ja muiden kiinteiden kaasujen höyrystymisestä johtuvien suihkuvoimien vaikutusta. Nämä ovat yleensä pidentäneet Halley'n pyrstötähden kierrosta noin neljällä päivällä.

Uusia ratalaskuja tekivät mm. T. Kiang ja samaiset Brady ja Carpenter, ja reaktiovoimien mukaanotto siirsi perihelihetken helmikuun 9. päivään. Brady oli löytävinään ratalaskuista häiriöitä, jotka viittasivat kaukaisen planeetan olemassaoloon (ks. luvun 3 loppu), mutta myöhemmin on osoitettu, että jaksolliset häiriöt johtuivat Auringon ja Jupiterin yhteisvaikutuksesta komeetan liikkeeseen.

Tarkimmat ennustukset edessäolevaa perihelikäyntiä varten on tehnyt Jet Propulsion Laboratoryssa työskentelevä Donald K. Yeomans. Hän julkaisi laskunsa kesäkuun 1977 *Astronomical Journalissa*, ja hänen tuloksiinsa perustuvat tässäkin kirjassa esitetyt ennusteet Halley'n näkymisestä vuosina 1986 ja 2061.

Yeomans kävi läpi puolitoistatuhatta paikkahavaintoa vuosien 1607–1911 väliltä ja valitsi näistä laskuihinsa yhdeksänsataa parasta. Näiden havaintojen pohjalta hän laski JPL:n tietokoneella komeetan radan ottaen huomioon kaikkien planeettojen häiriöt ja reaktiovoimat. Komeetan perihelihetkeksi tuli tarkkaan sanottuna helmikuun 9.6613, missä pisteen jälkeiset numerot ovat päivän desimaaleja. Yeomansin ratalaskun tulokset näkyvät oheisesta taulukosta.

Halley'n komeettaa ruvettiin maailman suurimmilla kaukoputkilla etsimään jo 1970-luvun lopulla Yeomansin laskujen ennustamasta

Halley'n komeetta näkyi edellisellä perihelikäynnillään huomattavasti paremmin kuin tällä kertaa. Näistä 6. ja 7. 6. 1910 otetuista kuvista näkyy pyrstön muodon vaihtelu. (Kuvat Lick Observatory)

paikasta. Komeetan odotettiin löytyvän aikaisintaan 1981 ja viimeistään 1983.

Löydettiin syksyllä 1982

Vuonna 1981 komeettaa ei vielä havaittu. Syksyn 1982 yritykset aloitettiin syyskuussa, kun Pikku Koiran tähdistö, jossa komeetta sijaitsi, tuli sopivaan kuvausasettoon. Havaintoja haattasi tiheä tähtikenttä, jonka seassa komeetta liikkui.

Lokakuun 16. päivänä 1982 Halley saatiin näkyviin Palomarin 5.1 m kaukoputkella. Havaintolaitteena oli Yhdysvaltain avaruustelekooppi varten kehitetty elektroninen ilmaisin, ns. CCD-kamera (Charge-Coupled Device), joka pystyy rekisteröimään selvästi heikompia kohteita kuin perinteinen valokuvauslevy.

Varmistus Palomarin havainnoille saatiin pari päivää myöhemmin Kitt Peakin 4 m kaukoputkella tehdystä havainnoista. Havaijilla olevalla Kanadan-Ranskan-Havaijin 3.6 m teleskoopilla otetuista kuvista löytyi pieni jälki komeetasta myös lokakuun 16. päivästä, vain pari tuntia myöhemmältä ajanhetkeltä kuin löytökuva.

Joulukuun alussa Halley'n komeettaa kuvattiin mm. Chilestä, jossa käytettiin Euroopan eteläisessä observatoriossa olevaa 1.5 m tanskalaista kaukoputkea. Komeetta saatiin näkyviin 45 minuutin valotuksella. Sen kirkkaus (ns. V-magnitudi) oli noin 24.7.

Donald Yeomans on laskenut Halley'n rataelementit ottamalla huomioon myös loppuvuoden 1982 havainnot. Komeetta tulee periheliinsä 1986 helmikuun 9.44394 päivänä (ET). Muut elementit suoraan IAU:n sähköstä:

$$\left. \begin{aligned} \omega &= 111^{\circ}84804 \\ \Omega &= 58.14538 \\ i &= 162.23930 \end{aligned} \right\} 1950.0$$

$$\begin{aligned} q &= 0.5871045 \text{ AU} \\ e &= 0.9672759 \\ a &= 17.94104 \text{ AU} \\ n^{\circ} &= 0.01296978 \\ P &= 76.0 \text{ years} \\ \text{Epoch } 1986 \text{ Feb. } 19.0 \text{ ET} \end{aligned}$$

Harrastajan ulottuville syksyllä 1985

Tähtitieteen harrastajan 20 cm kaukoputkella Halley näkyy selvästi vasta vuonna 1985 syyskuun alussa, kun pimeät yöt taas valoisien keuhon jälkeen alkavat. Tuolloin komeetan kokonaiskirkkaus on 13 magnitudia, ytimen kirkkaus 14.2, ja komeetta näkyy varhaisella aamutai-

IAU:n sähkö, jossa kerrottiin Halley'n löydöstä 1982.

Circular No. 3737

Central Bureau for Astronomical Telegrams INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION

Postal Address: Central Bureau for Astronomical Telegrams
Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA 02138, U.S.A.
TWX 710-320-6842 ASTROGRAM CAM Telephone 617-864-5758

PERIODIC COMET HALLEY (1982i)

D. C. Jewitt, G. E. Danielson, J. E. Gunn, J. A. Westphal, D. P. Schneider, A. Dressler, M. Schmidt and B. A. Zimmerman report that this comet has been recovered using the Space Telescope Wide-Field Planetary Camera Investigation Definition Team charge-coupled device placed at the prime focus of the 5.1-m telescope at Palomar Observatory. Five exposures of 480-s effective duration each (in seeing measured to be 1.70 fwhm) were taken on Oct. 16 through a broad-band filter centered at 500 nm. Definite images near the expected position and having the expected motion of P/Halley were noted. No coma was detected, and the object had a Thuan-Gunn magnitude of $[g] = 24.3 \pm 0.2$ (corresponding to $V \sim 24.2$; and presumably $B \sim 25$). Two exposures were also made in the $[r]$ band. Preliminary representative positions, which have an estimated external error of ± 0.35 in α and $\pm 5''$ in δ but greater internal consistency, follow:

1982 UT	α_{1950}	δ_{1950}
Oct. 16.47569	$7^{\text{h}}11^{\text{m}}01.59^{\text{s}}$	$+9^{\circ}33'03''$
16.49097	$7^{\text{h}}11^{\text{m}}01.8^{\text{s}}$	$+9^{\circ}33'02''$
16.52153	$7^{\text{h}}11^{\text{m}}01.7^{\text{s}}$	$+9^{\circ}33'00''$

The object is located some 0.6 west of the position predicted by D. K. Yeomans (1981, *The Comet Halley Handbook*), suggesting that $T = 1986 \text{ Feb. } 9.3 \text{ UT}$. Confusion with a minor planet would be extremely unlikely. An attempt to confirm the recovery on Oct. 19 was successful in the sense that no objects were detected at the Oct. 16 locations and that the comet's image would then have been in the glare of a star; the dense stellar field has in fact thwarted other attempts to recover the comet during the past month. The recovery brightness indicates that the 1981 Dec. 18 attempt (cf. IADC 3688) failed to record the comet by a very small margin and for an assumed geometric albedo of 0.5 leads to a radius of $1.4 \pm 0.2 \text{ km}$. The comet's heliocentric and geocentric distances at recovery were 11.04 and 10.93 AU, respectively.

NOVA SAGITTARII 1982

Corrigendum. On IADC 3736, line 17, the first astrometric position should be attributed to J. Hers, Sedgfield.

1982 October 21

Brian G. Marsden

Taulukko D. K. Yeomansin artikkelista "Comet Halley – the orbital motion". Siinä on parhaat komeetan rataelementit vuosilta 837–2061. Rataelementit ks. luku 8. Periheliitimet ennen vuotta 1582 ovat juliaanisen kalenterin mukaan, sen jälkeen gregoriaanisen kalenterin. (Taulukko *Astronomical Journal* kesäkuu 1977)

Perihelion passage (ET)	q (AU)	e	Mean ecliptic and equinox of 1950.0			Period (yr)
			ω	Ω	i	
2061 Jul. 29.1330	0.592785	0.966566	112.0420	58.6876	161.9598	74.66
1986 Feb. 9.6613	0.587096	0.967267	111.8534	58.1531	162.2378	75.96
1910 Apr. 20.1777	0.587189	0.967297	111.7170	57.8467	162.2151	76.08
1835 Nov. 16.4387	0.586542	0.967386	110.6856	56.8025	162.2552	76.27
1759 Mar. 13.0608	0.584447	0.967679	110.6899	56.5287	162.3689	76.89
1682 Sep. 15.2807	0.582608	0.967923	109.2054	54.8522	162.2657	77.41
1607 Oct. 27.5406	0.583615	0.967490	107.5314	53.0535	162.9020	76.06
1531 Aug. 26.0181	0.581190	0.967714	106.9690	52.3362	162.9097	76.38
1456 Jun. 8.4108	0.579688	0.967969	105.8313	51.1483	162.8823	76.99
1378 Nov. 7.6457	0.576205	0.968331	105.3003	50.3055	163.1038	77.61
1301 Oct. 20.3960	0.572718	0.968902	104.5148	49.4451	163.0675	79.03
1222 Sep. 27.5483	0.574263	0.968821	103.8729	48.6011	163.1823	79.04
1145 Apr. 20.2338	0.574836	0.968752	103.7301	48.3505	163.2147	78.90
1066 Mar. 23.2544	0.574559	0.968829	102.5122	46.9300	163.1042	79.14
989 Sep. 7.4221	0.581980	0.967857	101.5350	45.8756	163.3887	77.04
912 Jul. 16.7465	0.580219	0.968026	100.8282	44.9592	163.3007	77.30
837 Feb. 23.1646	0.582424	0.967740	100.1591	44.2450	163.4399	76.71

vaalla. Syyskuun loppuun mennessä se on kirkastunut 11.5 suuruusluokkaan, joten se näkyy jo hieman pienemmilläkin kaukoputkilla Härän tähdistössä. Komeetan kulmaetäisyys Auringosta on suunnilleen 90 astetta.

Lokakuussa 1985 näkyy Halley kaukoputkilla jo varsin hyvin. Komeetta on edelleen Härän tähdistössä, ja kuun loppuun mennessä se on etääntynyt Auringosta 135 asteen päähän. Sen kokonaiskirkkaus on kasvanut 9:ään ja ytimen kirkkaus 10.6 suuruusluokkaan. Marraskuussa 1985 Halley alkaa näkyä myös kiikareilla. Komeetta liikkuu tähtiin nähden länteen päin ja se ohittaa Härän pää tähden Aldebaranin pohjoispuolelta. Lähes oppositiossa eli Auringon vastakaisella puolella Halley on 18. 11. 1985. Tuolloin se näkyy koko yön. Komeetta siis nousee Auringon laskiessa ja laskee auringonnousun vaiheilla. Marraskuun 15. päivänä sen kokonaiskirkkaus on 7.4 (ydin 9.2) ja marraskuun lopussa 6.3 (ydin 8.2) suuruusluokkaa.

Epäedullinen vierailu

Tämäkertainen Halley vierailu on Suomen kannalta hyvin epäedullinen. Komeetta näkyy kunnolla vain loppusyksystä 1985 sekä tammikuussa 1986. Sen jälkeen sitä ei juuri pysty havaitsemaan Suomesta. Kannattaa siis käyttää hyväksi vuodenvaihte 85–86 ja katsella komeettaa, vaikka se ei olekaan vielä kirkkaimmillaan.

Joulukuun alussa Halley on Pegasuksen alla Kalojen tähdistössä ja 1.5 AU:n päässä Auringosta. Etäisyys Maasta on pienimmillään

Taulukko. Kuinka heikkoja kohteita erilaisilla havaintovälineillä pystyy näkemään. Rajamagnitudi tarkoittaa sellaisen kohteen kirkkautta, jonka pystyy laitteella juuri erottamaan, selvän näkemisen magnitudi sellaisen kohteen kirkkautta, joka on laitteella jo selvästi nähtävissä.

Laite	Rajamagnitudi	Selvän näkemisen magnitudi
5 m peili	24	
20 cm peili	15	13
10 cm "	13	11
6 cm "	11	9
Kiikari ϕ 50 mm	n. 8–9	7
Paljas silmä	6	4

myös näillä vaiheilla (0.62 AU marraskuun 27. päivänä) ja komeetan kirkkaus on noin 6.3 (ydin 8.2) suuruusluokkaa. Kiikarilla Halley näkyy tuolloin jo hyvin, varsinkin jos tarkkailee maaseudun pimeydessä, riittävän kaukana häiritsevästä valonlähteistä. Tietysti kaupunkien laitamiltaakin voi yrittää katsella, mutta taajaman hajavallo häiritsee siellä vielä havaintoja. Näihin aikoihin pitäisi komeetalle ilmestyä jo hentoa pyrstöäkin, joka voi näkyä myös kiikareilla (miel. 7×50 tai 10×50). Kiikarilla komeetan pää näkyy hentonaa utupallona. Kaukoputkilla ydin ja koma näkyvät kirkkaammin, mutta pyrstö ehkä heikommin. Kaukoputkissa on yleensä suurempi suurennus kuin kiikareissa, mistä johtuen pyrstö ei näy kaukoputkella yhtä hyvin kuin kiikarilla. Joulukuun alkuun mennessä Halley kulmaetäisyys Auringosta on pienentynyt 132° :seen.

Halley'n komeetan rata vuonna 1983–85. Kierukkarata johtuu Maan kierto- ja kiertoliik- keestä Auringon ympäri. Kierukka suurenee komeetan lähestyessä Aurinkoa.

Koko joulukuun Halley lähenee edelleen kiihtyvällä nopeudella Aurinkoa, mutta samalla sen etäisyys Maasta kasvaa. Vaikka komeetta todellisuudessa kirkastuukin, pitää etääntyminen sen kirkkauden Maan havaitsijaan nähden lähes vakiona.

Suomessa parhaimmillaan tammikuussa

Maan radan etäisyydelle Auringosta Halley saapuu uudenvuodenpäivänä 1986. Komeetan etäisyys Maasta on 1.16 AU, kirkkaus 5.4 (ydin 7.8), ja se näkyy hyvin (niin hyvin kuin se voi näkyä) koko Suomessa. Komeettaa voi tarkkailla tammikuun 15. – 20. päivään asti. Koko tammikuun alkupuoliskon se on näkyvissä iltataivaalla pimeän tultua. Kun Aurinko on laskenut 18° horisontin alapuolelle, loppuu ns. astronominen hämärä, pimeä alkaa ja silloin näkyvät heikoimmatkin tähdet. Helsingissä Halley näkyy tammikuun 15. päivänä illalla 8.1 asteen korkeudella ja viisi päivää myöhemmin 3.9 asteen korkeudella. Oulussa komeetan korkeus taivaanrannasta on 15. ja 20. päivänä tammikuuta vastaavasti 6.0 ja 2.2 astetta. Vielä 25. 1. on mahdollista nähdä komeetta Helsingissä, sillä Auringon ollessa 14° horisontin alla on komeetta 1.8° korkeudella (Oulussa vain 0.6° korkeudella).

Tammikuun 1986 aikana Halley'n kulmaetäisyys Aurinkoon pienenee 1. päivän 54 asteesta kuun puoliväliin mennessä 33° :seen ja kuun loppuun mennessä 10° :seen. Samaa aikaan komeetan pyrstö kasvaa ja tulee yhä selvemmäksi. Tällöin komeetta myös siirtyy Kau-

Halley'n rata marraskuusta 1985 toukokuuhun 1986.

riin tähdistöön. Tammikuun lopussa etäisyys Auringosta on 0.62 AU ja Maasta 1.56 AU. Se joka ei tammikuussa ole nähnyt komeettaa Suomesta, ei sitä enää ehdi näkemäänkään.

Periheli Auringon takana

Perihelissään Halley on helmikuun 9. päivänä, jolloin se on Maasta katsoen lähes täsmälleen Auringon takana. Näin ollen komeettaa ei nähdä mistään maapallolta. Komeetan etäisyys Auringosta on lyhimmillään 0.59 AU, ja samalla Halley on kirkkaimmillaan. Kokonaiskirkkaudeksi perihelin aikaan on arvioitu 2.9 magnitudia, mutta tuosta kirkkaudesta ei ole mitään iloa, koska komeetta ei näy. Perihelin jälkeen kulmaetäisyys Auringosta taas kasvaa, ja helmikuun loppupuolella komeetta ilmestyy näkyviin eteläisellä pallonpuoliskolla. Sen kirkkaus on 4.2 ja sillä nähdään selvä pyrstö huolimatta siitä, että näemme pyrstön Maahan noin 40 asteen kulmassa. Pituutta pyrstöllä on arvioitu olevan tällöin noin 10 astetta.

Halley'n rata tarkemmin joulukuussa 1985 – tammikuussa 1986, jolloin komeetta näkyy Suomessa. Parhaiten komeetan löytää kun ensin etsii lounaiselta iltataivaalta Pegasuksen neliömäisen "tähtikuvion" ja sen jälkeen tunnistaa Pegasuksen alapuolella näkyviä tähtiä ylläolevasta kuvasta. Halley'n paikka on kuvassa 5 päivän välein.

Taulukko. Halley'n komeetan kirkkauksia ja etäisyyksiä nykyisen vierailun aikana.

Pvm	Kokonaiskirkkaus (mag)	Ytimen kirkkaus (mag)	Etäisyys Maasta (AU)	Etäisyys Auringosta (AU)
1. 1. 1982	—	23.9	11.72	12.67
1. 1. 1983	—	22.7	9.65	10.60
1. 1. 1984	—	21.0	7.26	8.22
1. 1. 1985	—	17.9	4.34	5.28
1. 7.	—	16.1	4.43	3.46
1. 8.	14.3	15.3	3.81	3.10
1. 9.	13.1	14.2	2.98	2.73
1. 10.	11.4	12.8	2.04	2.35
1. 11.	8.9	10.5	1.08	1.92
1. 12.	6.3	8.2	0.63	1.49
1. 1. 1986	5.4	7.9	1.16	1.01
1. 2.	3.2	6.4	1.56	0.62
1. 3.	4.7	6.6	1.27	0.72
1. 4.	4.1	6.8	0.53	1.17
1. 5.	6.1	9.1	0.80	1.63
1. 6.	8.1	11.9	1.80	2.07
1. 7.	9.6	13.6	2.74	2.47
1. 8.	11.2	14.8	3.56	2.86
1. 9.	12.6	15.7	4.17	3.23
1. 1. 1987	14.1	17.2	4.26	4.53

Maaliskuussa komeetta etäänny Auringosta, mutta samalla se lähestyy Maata ja kääntyy siten, että sen pyrstö alkaa näkyä paremmin ja paremmin. Komeimmillaan pyrstö onkin maaliskuussa ja aivan huhtikuun alussa, jolloin sen pituus lienee 10–20° paljain silminkin katsottaessa. Maaliskuu on suurimmalle osalle maapalloa parasta Halley'n katseluaikaa. Kuten edellä todettiin, pohjoisilla leveysasteilla asia ei kuitenkaan ole näin. Komeettaa voi ihailla vain eteläisillä leveysasteilla.

Missä maapallolla Halleyta voisi maaliskuussa katsella? Juuri ja juuri se näkyy 50. leveysasteella, mutta sielläkin aivan horisontissa aamutaivaalla pimeän loputtua. Välimeren tienootkin sijaitsevat 35. – 40. leveysasteella, ja kannattaa matkata vielä reilusti etelämmäksi. Hyviä katselupaikkoja voisivat olla esimerkiksi Kanariansaaret ($\varphi = 28^\circ$), kuuluisa Timbuktu ($\varphi = 17^\circ$) tai Kenia (päiväntasaajalla). Koko eteläisellä pallonpuoliskolla, päiväntasaajan eteläpuolella, komeetta näkyy hyvin.

Keväästä syksyyn

Maaliskuussa Halley etäänny Auringosta ja sen todellinen kirkkaus pienenee. Mutta koska komeetta samalla lähestyy Maata, se Maasta

Halley'n "näkyminen" Suomessa tammi-, maalisi- ja huhtikuussa 1986. Päivämäärän jälkeen sulussa oleva luku on komeetan arvioitu kirkkaus (magnitudia). Tammi- ja maaliskuun tilanteessa Aurinko on 18° taivaanrannan alapuolella, maaliskuun tilanteessa 14° . Kuten kuvasta näkyy, huhtikuussa komeetta ei näy lainkaan, maaliskuussa hyvin matalalla ja heikosti, ja vain tammikuussa komeetan voi juuri ja juuri nähdä paljain silmin.

katsoen alkaakin kirkastua. Maaliskuun 5. – 10. päivien vaiheilla on kirkkaudeksi arvioitu 5.0. Kirkkaimmillaan komeetta on 1. – 10. huhtikuuta. Maksimikirkkaudeksi on arvioitu 4.0. Lähimpänä Maata tällä vierailullaan komeetta on huhtikuun 4. päivänä 1986, jolloin se on meistä 0.42 AU:n päässä.

Taivaanpallolla Halley on eteläisimmillään 10. 4., jolloin komeetta ei nouse edes päivällä Suomen horisontin yläpuolelle. Taas aivan huhtikuun lopussa Halley voisi ruveta näkymään Suomessa, mutta kesä alkaa valaista öitä. Toukokuun alussa komeetan kirkkaudeksi on arvioitu 6.0 magnitudia, joten paljain silmin sitä ei silloin voisi enää nähdä.

Syksyllä 1986 kesäöiden pimennyttyä Halley voisi taas näkyä Suomessa, mutta sen kirkkaus on tuolloin vain 11 – 12 suuruusluokkaa. Niinpä se näkyykin vain kaukoputkella heikkona ututäplänä, ja vuoden loppuun mennessä se onkin jo harrastajakaukoputkien ulottumattomissa.

Miten Halley löytyy

Suomessa Halley'n komeetta näkyy siis vain vuoden 1985 lopussa ja tammikuussa 1986. Tuolloinkin on komeetan paikka taivaalla tiedettävä tarkasti, jotta sen voisi nähdä. Parasta on etsiä komeettaa pime-

Halley'n näkyminen 20. leveysasteella. Pyrstötähti on komeimmillaan maaliskuuhuhtikuun vaiheessa 1986. Kuvion tilanteissa Aurinko on 18° taivaanrannan alapuolella. (Piiros D. K. Yeomansin kirjasta The Comet Halley Handbook)

ällä maaseudulla kiikarilla (miel. 7×50), ja kun on sen löytänyt, voi yrittää paljain silmin. Mutta jos haluaa nähdä Halley'n kunnolla, on parasta matkustaa maaliskuun loppupuolella 7×50 -kiikari mukana eteläiselle pallonpuoliskolle tai ainakin etelämmäksi kuin 40. pohjoisen leveysaste.

Miten Halley tulee näkymään, jos sen kokonaiskirkkaus on noin 4? Verrataanpa tätä jonkin tähden kirkkauteen. Otavan tunnumme kaikki, sillä sen tähdet näkyvät taivaalla selvästi. Otavan toinen tähti "kahvasta" lukien on nimeltään Mizar, ja sen kirkkaus on 2.2. Tarkkaan katsottuna on aivan Mizarin lähellä pieni tähti, Alcor, ja sen kirkkaus on 4.2. Halley'n kokonaiskirkkaus tulee siis olemaan samaa luokkaa kuin Alcorin kirkkaus. Komeetta ei siis todellakaan ole loistava! Tähtiharrastajat saavat olla tyytyväisiä, jos näkevät pyrstötähden paljain silmin, ja suuren yleisön joukossa komeetan näkeviä tulee olemaan hyvin harvassa.

Halley 2061

Seuraavan kerran Halley'n komeetta on perihelissään heinäkuun lopussa 2061. Helmikuussa 2061 on Halley'n kirkkaus alle 12. Komeetta lähestyy Aurinkoa mutta samalla etääntyy Maasta, joten kevään ai-

kana se ei kirkastu 9. suuruusluokkaa kirkkaammaksi. Toukokuussa, jolloin yöt tulevat valoisammiksi, Halley on Auringon takana näkymättömissä.

Paljain silmin Halley alkaa näkyä kesäkuun lopussa 2061. Se on heinäkuussa hyvin nähtävissä Etelä-Euroopassa, jossa yöt ovat pimeitä. Komeetta alkaa näkyä Etelä-Suomessakin heinäkuun lopussa, jolloin yöt jo ovat riittävän pimeitä tähtitaivaan tarkkailuun. Komeetta on silloin sekä Auringosta että Maasta noin 0.5 AU:n päässä, ja sen kirkkaus on noin 1. Sen kulmaetäisyys Auringosta on 26° , ja se on Auringon pohjoispuolella.

Elokuun alussa 2061 Halley näkyy vielä jonkin aikaa Etelä-Suomessa, mutta jo kuun lopussa se on siirtynyt Auringon eteläpuolelle eikä ole enää hyvin nähtävissä. Syyskuussa ei Halley enää näy Suomessa. Se on eteläisellä taivaalla ja heikkenee koko ajan. Lisäksi se taas lokakuussa on Maasta katsottuna Auringon takana, joten sitä ei nähdä mistään maapallolta.

Jos Halley näkyykin huonosti Suomesta 1986, näkyy se seuraavalla vierailullaan 2061 melko komeasti aivan heinäkuun lopussa ja elokuun alussa viikon parin ajan. Tämän kirjan lukijoista harva on enää Halley'n seuraavaa käyntiä näkemässä, mutta voimme muistuttaa lapsiamme ja lapsenlapsiamme tulevasta vierailusta.

14. Kansainvälinen Halley-tutkimus

Halley'n komeetan tulo herättää suurta huomiota sekä tiedemiesten että suuren yleisön keskuudessa. Komeetan saama huomio pyritään hyödyntämään siten, että sen tutkimiseksi järjestetään laaja ohjelma, johon ottavat osaa niin ammattimaiset kuin harrastajatahtitieteilijät. Ohjelmalle on annettu nimeksi *kansainvälinen Halley-tutkimus* (*International Halley Watch* eli IHW).

Tutkimusohjelma sai alkunsa 1970-luvun lopulla, kun eri observatorioissa ryhdyttiin valmistelemaan tulevia Halley-havaintoja. Amerikkalaiset komeettatutkijat miettivät, mikä olisi tehokkain tapa saada komeetan vierailusta irti suurin mahdollinen hyöty. Kävi selväksi, että parasta olisi luoda yksi keskitetty havaintoverkko, johon värvättäisiin järjestelmällisesti tähtitorneja eri puolilta maailmaa. Verkon observatorioiden kesken suunniteltaisiin tarkoituksenmukaisin tehtäväjako.

Huonon esimerkin keskitetystä komeettatutkimuksesta tarjosi edellisen Halley'n vierailun, 1910, tutkimiseksi koottu verkko. Tuolloin oli myös koetettu kerätä havaintoja ja jakaa etukäteen tehtäviä. Silloinen tutkimus epäonnistui melko pahasti useastakin syystä. Esimerkiksi havaintomenetelmiä ei ollut standardisoitu, ja siksi tuloksia oli lähes mahdotonta vertailla ja sovittaa yhteen. Toiseksi tähtitornit eivät halunneet luovuttaa tutkimustuloksiaan yhteiseen käyttöön vaan mustasukkaisesti suojelivat omiaan. Ja kolmanneksi tulosten jälkikäsitteilyä ja sulattelua ei ollut kunnolla suunniteltu. Ainoa yleisraportti Halley'n vierailusta ilmestyi vasta 1931, kaksikymmentä vuotta havaintojenteon jälkeen.

Vanhoista kokemuksista on tällä kertaa koetettu ottaa oppia ja laatia järkevämpi suunnitelma. Ajatuksia kysyttiin Amerikassa ja Euroopassa 1980-luvun alkuvuosina, ja kansainvälisen tähtitieteellisen unionin IAU:n kokouksessa elokuussa 1982 ohjelma saatettiin julkiseksi.

Halley'n komeettaa tutkitaan kaikilla suurimmilla kaukoputkilla. Kuvassa Palomarin observatorion 1.2 m Schmidt-teleskooppi, joka 33. pohjoiselta leveysasteeltaan pystyy näkemään komeetan huomattavasti paremmin kuin Suomessa.

Kahdeksan havaintoverkkoa

Vuosina 1983–88 Halley'n komeettaa tutkitaan lähes kaikilla mahdollisilla tavoilla: kaukoputkilla, radioteleskoopeilla, harrastajien välineillä, satelliiteilla ja avaruusluotaimilla. Sensaatiomaisimmat tulokset saadaan varmasti avaruusaluksista, joita Halley'n komeettaa kohti lähetetään kokonaista neljä kappaletta; näistä kerrotaan seuraavassa luvussa. Maanpäällisillä havainnoilla komeettaa voidaan kuitenkin tarkkailla paljon pitemmän aikaa ja paljon mutkikkaampia havaintolaitteita käyttäen. Siksi niidenkin osuus on yhtä keskeinen.

Kansainvälisellä Halley-tutkimuksella on kaksi keskuspaikkaa, Kaliforniassa Pasadenassa sijaitseva Nasan Jet Propulsion Laboratory ja Länsi-Saksassa Bambergissa sijaitseva Remeisin observatorio. Näistä toimistoista lähetetään tiedotuslehtisiä ja kirjeitä havaintosijoiden kokoamiseksi ja niihin aikanaan kerätään kaikki havaintotulokset. Toimistot pitävät yhteyttä myös avaruusluotaimia lähettäviin järjestöihin, joiden kanssa ne ovat sopineet yhteistyöstä ja tietojenvaihdosta.

Suuren osan Halley-tutkimusta rahoittaa Yhdysvallat. Amerikkalaiset ovat joutuneet hieman noloon asemaan, kun he varojen puutteessa joutuivat peruuttamaan oman Halley-avaruusluotaimen rakentamisen. Siksi he haluavat tarmokkaasti tutkia komeettaa maanpäällisin keinoin.

Halley-tutkimus on perustanut kahdeksan havaintoverkkoa, jotka eri keinoin yrittävät selvittää Halley'n salaisuuksia. Verkot ovat 1) paikanmääräys, 2) infrapunamittaukset, 3) komeetan valokuvaus, 4) ytimen tutkiminen, 5) kirkkauden mittaus, 6) radiotutkimukset, 7) spektritutkimukset ja 8) harrastajaverkko.

Komeetan paikanmääräys

Ensimmäiset havainnot astrometria- eli paikanmääräysverkossa tehtiin lokakuun 16. päivänä 1982, kun Halley'n komeetta jälleen saatiin näkyviin. Sen jälkeen pyrstötähteä on kuvattu jo useassa tähtitornissa.

Saaduista valokuvista mitataan komeetan paikka taivaalla mahdollisimman tarkasti. Pitkäaikaisista paikkahavainnoista määrätään komeetan rata. Radan täsmällinen tunteminen on tarpeen varsinkin avaruusluotainten ohjaamisessa. Mitä tarkemmin Halley'n paikka osataan ennustaa, sitä paremmin luotaimet voidaan ohjata komeetan ytimen ohi suotuisinta reittiä pitkin.

Paikkalaskuista voidaan myös arvioida, miten paljon kaasujen purkautuminen komeetan pinnasta pystyy reaktiivoimallaan muuttamaan pyrstötähden rataa.

Maan ilmakehän yläosista on saatu talteen pölyhiukkasia, jotka voivat olla peräisin komeetoista. Kuvassa on näitä ns. Brownleen hiukkasia 18 000 kertaa suurennettuina. Kuvan siruset on kerätty U-2-lennoilla toukokuussa eta akvaridien tähdenlentoparven aikoihin. Hiukkaset voivat siten olla peräisin Halley'n komeetasta. (Kuva Don Brownlee ja California Institute of Technology)

Pöly ja jää

Toinen havaintoverkko, infrapunaverkko, tutkii Halley'n komeettaa näkyvää valoa pitemmillä aallonpituuksilla. Näillä infrapuna-aalloilla voidaan mitata komeetan pölyn lämpötila. Jos infrapunasäteily hajotetaan spektriksi, näkyy säteilyssä tummia absorptioviivoja, kuten näkyvässäkin valossa. Absorptioviivat kertovat, millaisia molekyylejä komeetan ytimessä on.

Aikaisemmin infrapunaviivoista on nähty, että komeettojen päässä on silikaattipölyä eli hyvin pienijakoista hiekkaa. Halley'n komeetan ilmestyessä on laitteita kehitetty edelleen tarkemmiksi, ja infrapunasäteilyn odotetaan paljastavan mm. vesijään, ammoniakki- ja metaanijään olemassaolon.

Halley'n infrapunatutkimus voi antaa vastauksen kysymykseen, ovatko komeetan pölyhiukkaset samanlaisia kuin maapallon ilmakehän yläosista pyydystetyt ns. Brownleen hiukkaset. Jos ne havaitaan samanlaisiksi, se merkitsee, että meillä on jo maanpäällä tutkittavana komeettojen ainetta, ehkä itse Halley'n komeetasta irronneita hitusia.

Fig. 46. June 3.694.

Fig. 47. June 4.715.

Halley'n komeetan kuvia vuoden 1910 vierailulta. Kuvat ovat Bobrofnikoffin klassisesta julkaisusta Lickin observatorion julkaisusarjasta, no 17, 1931.

Valokuvia komeetasta

Havainnollisimpia tuloksia Halley'n komeetasta antaa "suuren mitakaavan ilmiöiden" verkko. Tämä verkko koostuu puolestasadasta tähtitornista, jotka jatkuvasti ottavat korkealuokkaisia valokuvia pyrstötähddestä.

Valokuvausverkko on haluttu saada mahdollisimman tiiviiksi, jotta komeetasta saataisiin kuvia parin tunnin välein. Koska kuvia voi ottaa vain pimeään aikaan, täytyy verkossa olla observatorioita kaikilta pituusasteilta. Tiheä kuvaaminen on tarpeen, koska komeetan kaasupyrstössä voi tapahtua hyvinkin nopeita muutoksia. Pölypyrstön muutokset ovat paljon hitaampia, mutta nekin tietysti tulevat valokuvissa näkyviin.

Valokuvia otetaan varsinkin Halley'n näkyessä parhaiten marras – joulukuussa 1985 ja maalisk – huhtikuussa 1986. Parhaista kuvista voidaan yhdenmukaistamisen jälkeen koota filmi, jossa näkyy komeetan ja sen pyrstön kehittyminen. Tuhatkunta kuvaa aiotaan myös julkaista näyttävänä kuvakirjana.

Ytimen tutkiminen

Komeetan tärkein osa on sen ydin. Itse "likaista lumipalloa" ei maapallolta voida nähdä, koska sen läpimitta on vain kolmisen kilometriä. Mutta maapallolle näkyy ytimen lähialue, jossa nopeasti havaitaan itse ytimessä tapahtuvat muutokset.

Halley'n komeetan ydin on ilmeisesti epäsymmetrinen, koska aikaisemmilla vierailuilla siitä on todettu irtoavan pölyä ja kaasua hyvin epätasaisesti. Aine irtoaa ytimen päivänpuolelta ja ajautuu viuhkamaiseen kuvioon ytimen eteen ja molemmille sivuille.

Ytimen lähiympäristöä tutkitaan suurilla kaukoputkilla ja uuden aikaisimmilla ilmaisinsilteillä, jotka rekisteröivät huomattavasti tar-

Halley'n komeetan pää kuvattuna 9. 5. 1910 Mt. Wilsonin observatorion 60 tuuman (1.5 m) teleskoopilla, joka tuolloin oli maailman suurin kaukoputki. Kuvan otti G. W. Ritchey. Alkuperäinen kuva on käsitelty tietokoneella koman heikkojen yksityiskohtien korostamiseksi. Prosessoinnin on tehnyt Steve Larson Arizonan yliopistosta. (Alkuperäiskuva Mt. Wilson Observatory, tämän kuvan lähetti Sephen J. Edberg, International Halley Watch)

kempia yksityiskohtia kuin valokuvauslevyt. Pitkältä aikaväliltä saadut ytimen ympäristön kuvat muodostavat tärkeän vertailukohdan avaruusluotainten tutkimuksille, joissa saadaan vain hetkellinen, joskin paljon tarkempi kuva komeetan ytimeistä ja sen lähiympäristöstä.

Kirkkaudenmittaus

Komeetan kirkkautta pyritään mittaamaan usealla aallonpituuskaisella. Tämä tapahtuu fotometrin avulla, jossa valon tielle asetetaan erilaisia suodattimia, jotka päästävät lävitseen vain kapeita aallonpituusvälejä.

Fotometrisillä mittauksilla saadaan tietoa kaasun ja pölyn runsaudesta komeetan lähellä. Kirkkaudenvaihteluista voidaan nähdä komeetan ytimen pyöriminen ja ytimessä tapahtuvat purkaukset.

Halley'n komeetasta koetetaan tehdä myös tähdenpeittomittauksia, ts. tutkitaan jonkin tähden kirkkauden muuttumista, kun tähti joutuu Maasta katsottuna komeetan taakse. Näin voidaan selvittää, kuinka hyvin komeetan pöly ja kaasu pystyvät heikentämään niiden läpi kulkevaa valoa.

Radiotutkimukset

Jatkuvaa radiosäteilyä oli vuoden 1982 loppuun mennessä havaittu vasta kahdesta komeetasta, Kohoutekista ja Westistä. Kumpikin tapaus oli aivan havaintotarkkuuden rajoilla, sillä komeetat eivät säteile voimakkaasti radioaallonpituuksilla. Heikko säteily on ilmeisesti suurten pölyhiukkasten lämpösäteilyä. Voimakkaampaa säteilyä havaittiin keväällä 1983 komeetta IRAS-Araki-Alcockista, joka ohitti maapallon poikkeuksellisen läheltä.

Jatkuvan säteilyn lisäksi komeetoista on löydetty muutamien molekyylien viivasäteilyä. Esimerkiksi OH-molekyyli säteilee voimakkaasti 1667 megahertsin taajuudella (eli 18 cm aallonpituudella), ja tämä säteily on nähty noin tusinassa komeettoja. OH-molekyylin säteily voi Halley'n komeetassa vielä vahvistua ns. maser-ilmion takia.

Englannissa Jodrell Bankin radio-observatoriossa tutkitaan myös mahdollisuutta lähettää komeettaa kohti 18 cm aallonpituudella voimakas signaali. Signaali voisi hetkellisesti sammuttaa komeetan oman OH-säteilyn, ja komeetan luonnollisen säteilymekanismin toimimisaika antaisi tietoja molekyylin runsaudesta ja jakautumasta.

Spektritutkimukset

Halley'n komeetan spektriä tutkittiin jo edellisen vierailun aikana 1910. Esiintyneistä spektriviivoista tunnistettiin kymmenkunta alkuainetta tai molekyyliä. Spektritutkimus on 75 vuodessa huomatta-

Fig. 62. a, Centauri; b, Comet May 6.910; c, Comet May 7.906.

Halley'n komeetan spektri toukokuun 6. ja 7. päivänä 1910 verrattuna Alfa Centaurin spektriin. (Kuva Bobrofnikoffin julkaisusta)

vasti kehittynyt, ja Halleyta voidaan spektroskoopeilla havaita ehkä vuodesta 1984 vuoteen 1988 asti.

Mielenkiintoista on mm. tutkia, onko eri alkuaineiden runsaus Halley'n spektrissä 1988 sama kuin 1984. Komeetan pinnasta on tällä välin haihtunut noin metrin paksuinen kerros ainetta, ja alta on paljastunut uusi jää- ja pölykerros, jonka koostumus ei välttämättä ole enää täysin sama.

Harrastajaverkko

Vaikka harrastajilla ei ole mahdollisuutta tehdä yhtä syvällisiä ja tarkkoja havaintoja kuin ammattilaisilla, voivat kaikkien maiden harrastajat olla suureksi hyödyksi kansainväliselle Halley-tutkimukselle.

Harrastajien määrä on suurempi kuin tähtitieteen ammattilaisten, ja he voivat käyttää aikaansa ja laitteitaan oman mielensä mukaan. Lukuisilla harrastajilla on nykyään käytössä samantasoisia havaintovälineitä kuin ammattilaisilla oli 1910, kun Halley'n komeetasta viimeksi saatiin tietoja. Siksi heidän tulostensa vertaaminen 75 vuoden takaisiin havaintoihin on helppoa.

Harrastajien valokuvat, visuaaliset (eli paljain silmin tehdyt) piirrokset, spektrit ja kirkkaushavainnot täydentävät ammattilaishavaintoja. Lisäksi harrastajien odotetaan tekevän havaintoja kahdesta meteoriparvesta, jotka liittyvät Halley'n komeettaan. Parvista eta akvaridit nähdään toukokuussa ja orionidit lokakuussa.

Maanpäällisten kaukoputkien ohella Halley'n pyrstötähden kuvaamiseen käytetään kiertoradalla olevia kaukoputkia ja Halleylle omistettuja sukkulalentoja. (Kuva Nasa)

Suomalaisia havaintoja

Vaikka Halley'n komeetta on meidän pohjoisilta leveysasteiltamme vielä heikommin näkyvissä kuin etelässä, aikovat suomalaiset silti olla mukana komeetan kansainvälisissä havaintoverkoissa.

Suomalaiset tähtiharrastajat voivat liittyä Suomen Halley-verkkoon, joka on perustettu Ursan komeettajaoston yhteyteen. Verkkoa johtaa fil.lis. Kari Kaila, jolle kaikkien kiinnostuneiden toivotaan ilmoittautuvan. Verkko kootaan viimeistään vuonna 1984, ja sen jäsenet voivat mm. ostaa Ursasta englanninkielisen "harrastajahavaint-sijan käsikirjan" (IHW Amateur Observer's Manual), jossa on monia ohjeita Halley'n komeetan ja siihen liittyvien tähdenlentojen tarkkailemiseksi.

Ammattilaispuolella Halley'n tutkimiseen osallistuvat kaikki maamme kolme tähtitornia. Komeettaa aiotaan havaita mm. Helsin-

gin yliopiston Metsähovin observatorion 60 cm kaukoputkella ja Schmidt-kameralla sekä Teknillisen korkeakoulun 13.7 m radioteleskoopilla. Turkulaiset kuvaavat komeettaa mm. Tuorlan 70 cm Schmidt-teleskoopilla ja 60 cm kaukoputkella ja oululaiset Kiimingin tähtitornin 40 cm kaukoputkella.

Tutkimuksia kiertoradalta

Maanpäällisten havaintojen lisäksi Halleyta aiotaan tutkia Maan kiertoradalta useiden tekokuiden avulla. Odotetuimpia tuloksia piti saada Yhdysvaltain 2.4 m peilillä varustetusta avaruusteleskoopista, joka piti lähettää avaruuteen vuoden 1985 alkupuoliskolla. Avaruusteleskooppi olisi maapallon ilmakehän ulkopuolelta pystynyt kuvaamaan komeettaa tarkemmin kuin suurimmatkaan maanpäälliset kaukoputket.

Avaruusteleskoopin rakentaminen on kuitenkin joutunut vaikeuksiin, joiden takia sen lähtö saattaa lykkääntyä vuodelle tai jopa kahdella. Pahimmassa tapauksessa avaruusteleskooppi pääsee aloittamaan toimintansa vasta pitkälti sen jälkeen, kun komeetta on ohittanut perihelinsä, ja teleskooppi voi kuvata Halleyta vain sen etäännyessä jo kaukana Auringosta.

Avaruusteleskoopin lisäksi Yhdysvallat käyttää Halley'n komeetan tutkimiseen pienempiä kaukoputkia, jotka lähetetään viikoksi avaruuteen sukkulan lastiruumassa. Ensimmäinen Halleyta tutkiva sukkulalento on suunniteltu marraskuuksi 1985, toinen avaruusluotainten ohilentoaikaan maaliskuuksi 1986, kolmas kahta kuukautta myöhemmin ja viimeinen vuodelle 1987. Kiertoradalta pyrstötähteä voi tutkia sellaisillakin aallonpituuksilla, joilla säteily imeytyy ilmakehään, kuten ultraviolett- ja kaukaisessa infrapunavalossa.

Vuosina 1985 – 86 maapalloa kiertää myös useita pienempiä tähtitieteellisiä tekokuita, jotka kaikki käyttävät kaukoputkia komeetankin kuvaamiseen.

15. Halley-luotaimet

Niin maanpäällisiä kuin Maan kiertoradalta tehtäviä Halley-havain-toja vaivaa sama vika: ne joudutaan tekemään hyvin epäedullisesta asemasta. Halley'n komeetta on perihelinsä aikana meistä katsottuna Auringon toisella puolella. Havaintoetäisyys on pitkä ja Auringon läheisyys häiritsee kuvausta.

Onneksi avaruustekniikka on antanut meille ”pitkän käsivarren”, jonka varassa voimme ojentaa havaintolaitteita aivan komeetan viereen: avaruusluotaimet.

Kohtaus maaliskuun alussa

Kun ruvettiin suunnittelemaan komeettaluotaimia, jotka lentäisivät läheltä Halley'n ohi, jouduttiin ottamaan huomioon Halley'n komeetan erikoisen radan asettamat rajoitukset. Komeettahan kiertää Auringon vastakkaiseen suuntaan kuin planeetat, ja sen ratataso on noin 20 astetta kallellaan maapallon ratatasoon nähden.

Avaruusalukset voidaan nykytekniikalla lähettää vain radoille, jotka kulkevat suunnilleen Maan ratatasossa. Siksi kohtauspaikoiksi sopivat vain ne pisteet, joissa Halley'n rata leikkaa Maan ratatason. Ensimmäisen näistä pisteistä pyrstötähti läpäisee marraskuun 9. päivänä 1985 noustessaan Maan ratatason eteläpuolelta sen pohjoispuolelle, ja takaisin ratatason eteläpuolelle komeetta painuu toisessa leikkauksipisteessä maaliskuun 9. päivänä 1986.

Ensinmainittuna ajanhetkenä komeetta on kaukana Maan radan ulkopuolella eikä Auringon lämpö ole vielä paljonkaan alkanut vaikuttaa sen ytimen jäähän. Sen sijaan neljä kuukautta myöhemmin Halley on ohittanut perihelinsä ja sen aktiivisuus on suurimmillaan. Jälkimmäiseen pisteeseen on myös helpompi lähettää luotaimia, koska sen etäisyys Auringosta on lähellä maapallon etäisyyttä. Niinpä kaikki tulevat Halley-luotaimet kohtaavat komeetan maaliskuun 10. päivän paikkeilla 1986.

Suuri nopeus

Halley'n komeetta liikkuu vastakkaiseen suuntaan kuin planeetat. Siksi se liikkuu myös vastakkaiseen suuntaan kuin avaruusluotaimet,

Taiteilijan näkemys komeettaa lähestyvistä avaruusluotaimista.

Halley'n komeetan radan inkliinaatio on 168° . Pyrstötähti kulkee siten tasossa, joka on 18° kallellaan Maan rataa nähden, ja kulkusuunta on vastakkainen kuin planeetoilla. Vuoden 1983 lopulla komeetta on Saturnuksen etäisyydellä lähestymässä Aurinkoa.

koska näitä voidaan lähettää vain planeettojen omaan liikesuuntaan.

Halley'n nopeus Auringon lähellä on lähes 40 kilometriä sekunnissa. Avaruusluotainten nopeus on myös 30–40 km/s, mutta vastakkaiseen suuntaan. Kohtausnopeus on näiden kahden nopeuden summa, eli luotaimet kiitävät pyrstötähden pään ohi 70–80 kilometrin sekuntinopeudella. Tämä on huimasti suurempi nopeus kuin minäkään aikaisemman planeettaluotaimen kohtausnopeus.

Suuri nopeus aiheuttaa luotainten rakentajille monia huolia. Tietojensiirtonopeus on saatava hyvin korkeaksi, että luotain ehtii lähettää tietonsa Maahan. Kaikkien mittalaitteiden on toimittava ennätysvauhdilla. Luotaimet täytyy myös suojata hyvin, jos ne ohjataan komeetan pään lähelle, sillä 80 kilometriä sekunnissa kiitävät pölyhiukaset pystyvät läpäisemään paksunkin kuoren.

Nopeudesta on etujakin. Esimerkiksi pölyä ja kaasuja mittaavat laitteet saavat saaliikseen lyhyessä hetkessä suuren määrän tutkitta-

Taulukko. Halley-luotaimet. Mainitut päivämäärät ja kohtausetäisyydet ovat alustavia kaavailuja ja saattavat muuttua.

	Planeetta-A Japani	Giotto ESA	Vega Neuvostoliitto
Luotainten luku	1	1	2
Lähtöpäivä	14. 8. 85	10. 7. 85	15.–22. 12. 84
Luotaimen massa	120 kg	750 kg	4000 kg
Kohtauspäivä	8. 3. 86	7. 3. 86	6.–12. 3. 86
Kohtausnopeus	70 km/s	68 km/s	77 km/s
Kohtausetäisyys	100 000 km	500 km	10 000–3000 km
Tieteellisiä laitteita	2	8	10

vaa ainetta. Laitteiden on myös helppo erottaa muu avaruuden aine komeetan aineesta, sillä jälkimmäinen liikkuu paljon suuremmalla nopeudella.

Neljä alusta

Halley'n komeettaa kohti lähetetään neljä luotainta. Japani lähettää yhden, Länsi-Euroopan avaruusjärjestö ESA yhden ja Neuvostoliitto kaksi.

Alun perin kilvassa piti olla Yhdysvaltojenkin mukana. Maassa oli jo suunniteltu valmiiksi muita hienompi Halley-alus, joka Halley'n ohitettuaan olisi jatkanut matkaansa tutkimaan vielä toistakin komeettaa. Rahojen puute esti kuitenkin amerikkalaisen Halley-suunnitelman toteuttamisen.

Tällä hetkellä rakenteilla olevista Halley-luotaimista on tärkeimmät tiedot esitelty oheisessa taulukossa.

Pienin Halley-luotaimista on Japanin Planeetta-A, jonka koemallia tässä testataan. (Kuva K. Hirao, Institute of Space and Aeronautical Science)

Japanin Planeetta-A

Työnimellä Planeetta-A kulkeva hanke on Japanin ensimmäinen yritys lähettää luotaimia Maan kiertorataa kauemmaksi. Planeetta-A-ohjelmaan kuuluu itse asiassa kaksi luotainta, joista jälkimmäinen on varsinainen Halley-alus.

Japanin ohjelman ensimmäinen luotain on työnimeltään MS-T5, ja se lähetetään matkaan uudenvuodenyönä 1985. MS-T5-aluksella on tarkoitusta kokeilla uutta avaruusrakettia ja planeettainvälisen luotaimen ohjausta ja laitteistoja. Aluksella on pieni tehtävä myös Halleyn tutkimisessa, sillä alus on vain 15 miljoonan kilometrin päässä muista Halley-luotaimista niiden ohittaessa komeetan maaliskuussa 1986, ja se antaa vertailutietoja avaruuden olosuhteista tässä lähipisteessä.

Varsinainen Planeetta-A-alus lähetetään matkaan elokuun puolivälissä. Se kiertää kolme neljäsosaa kierrosta Auringon ympäri ja kohtaa Halleyn pyrstötähden maaliskuun 8. päivänä 1986.

Avaruusluotaimen massa ei ole suuri, vain 140 kiloa, ja siinä on kaksi tutkimuslaitetta. Toinen kuvaa televisiokameralla ultravioletivalossa pyrstötähden vetyhuntaa ja toinen mittaa aurinkotuulta.

Vetyhuntaa kuvaamalla voidaan tutkia, mistä molekyyleistä komeettaa ympäröivä vety on peräisin ja miten aurinkotuuli vaikuttaa huntuun.

Koska komeetan vetyhuntu on hyvin laaja, sen kuvaamiseksi on pysyttävä melko etäällä komeetan ytimestä. Niinpä Planeetta-A tulee korkeintaan 100 000 km päähän komeetasta. Kuvaus kestää useita viikkoja ennen ja jälkeen kohtauspäivän.

Euroopan Giotto

Eurooppalaisella Halley-luotaimella on jo selvästi kunnianhimoisemmat tavoitteet kuin japanilaisella. Nimeksi ESA:n alukselle annettiin Giotto. Giotto on tunnettu italialainen taiteilija, joka maalauksessaan 1300-luvun alussa kuvasi Halley'n komeetan.

Giotto-luotain lähetetään matkaan noin kuukautta ennen Japanin Planeetta-A:ta. Paras lähtöpäivä olisi 10. heinäkuuta 1985. Halley'n komeetan Giotto kohtaa maaliskuun 7. päivän tienoilla. Kohtausnopeus on noin 68 kilometriä sekunnissa. Giotto ohjataan luotaimista lähimmäksi Halleyä, ehkä vain 500 kilometrin päähän sen ytimestä.

Alus painaa noin 750 kg, mistä tieteellisten havaintolaitteiden osuus on 53 kg. Laitteita on kaikkiaan kahdeksan, ja niillä saadaan

Giotton rata. Alus lähetetään noin 10. 7. 1985, ja se lentää Halleyn ytimen ohi noin 7. 3. 1986.

muutaman tunnin havaintoaikana monipuolisia tietoja komeetasta.

Suurta yleisöä kiinnostavimpia tuloksia saadaan varmasti Giotton kameralla. Se ottaa lähestyessään koko ajan kuvia komeetasta. Kaukaa otetuissa kuvissa näkyy komeetan huntu, lähempää otetuissa ytimen lähiympäristön kaasun ja pölyn virtaukset ja juuri ennen kohtaushetkeä itse komeetan ydin, jota ihmisilmä ei aikaisemmin ole nähnyt.

Halley'n komeetan ytimen läpimitta on kolmisen kilometriä. Giotto pystyy määrittämään sen tarkan koon, muodon ja pinnanpiirteet. Valokuvissa, jotka otetaan lopuksi noin 1000 kilometrin etäisyydeltä, näkyy jopa parikymmenen metrin mittaisia yksityiskohtia komeetan pinnasta. Vaikka ydintä ympäröi hohtava kaas- ja pölypilvi, sen tiheys arvioidaan kuitenkin niin vähäiseksi, että luotaimella on lähes esteetön näköala ytimen pintaan.

Komeetan kaasun ja pölyn koostumusta Giotto tutkii usealla laitteella. Hunnun läpi kiitäessään alus sieppaa hiukkasia laitteisiinsa ja mittaa törmäyksessä hajonneen ja ionisoituneen aineen koostumukset.

Yksi laite rekisteröi luotaimen törmäävää pölyä. Aluksen edessä parikymmentä senttiä pohjan etupuolella on meteoroidisuoja, jonka uskotaan estävän komeetan pölyhiukkasten tunkeutumisen itse luotaimen. Suojuksessa on useita erilaisia törmäysmittareita, joiden avulla saadaan määrätyn pölyn tiheys ja hiukkaskoot.

Giotton kaikki kokeet on suunniteltu sitä silmällä pitäen, että luotain mahdollisesti komeetan ytimen ohittaessaan tuhoutuu. Kaikki tiedot lähetetään Maahan "reaaliajassa". Jos alus kuitenkin selviää hengissä komeetan ohi, sen muistissa säilyy esimerkiksi kokonaan viimeisin, tarkin komeetan ytimestä otettu valokuva, joka voidaan sitten rauhassa lähettää Maahan.

Neuvostoliiton Venerat

Neuvostoliitto heräsi avaruusvalloista viimeisenä suunnittelemaan omaa Halley-luotainta. Maan oli alun perin tarkoitus lähettää 1985 kaksi Venera-alusta tutkimaan vain Venus-planeettaa. Mutta sitten huomattiin, että samaisten Venerojen lento voitaisiin pienillä radan-korjauksilla ohjata Venuksen jälkeen Halleyä kohti. Näin syntyi Venera-Halley-ohjelma (venäläisittäin Venera-Gallei eli lyhennettynä Vega).

Neuvostoliiton Venera 17 ja 18 pudottavat "päänään" olevat luotaimet Venukseen ja jatkavat lentoaan kohti Halleyä. Alukset ovat samanlaisia kuin aikaisemmat menestykselliset Venerat, mutta havaintolaitteisto on kehitetty nimenomaan komeettaa varten. (Piirros ESA)

Venera-Halley-luotaimet lähetetään matkaan luultavasti nimillä Venera 17 ja Venera 18. Alukset laukaistaan aikaisemmin kuin muut Halley-luotaimet, jo vuoden 1984 joulukuussa. Kierrettyään runsaat puoli kierrosta Auringon ympäri Venerat kohtaavat Venuksen kesäkuussa 1985. Ne pudottavat Venuksen pinnalle laskeutumisalukset ja jättävät Venuksen ilmakehään ilmapallon varassa ajelehtimaan pienet mittausgondolit.

Venera-emäalusten lento jatkuu Auringon ympäri taas lähes koko kierroksen, kunnes rata vie Halley'n komeetan ohi maaliskuun 6. ja 12. päivän välillä. Luotaimista ensimmäinen ohjataan noin 10 000 km päästä komeetan ytimen ohi ja toinen 3000 km päästä.

Kummassakin Venerassa on kaksi kameraa, joista toinen ottaa komeetasta laajakulmakuvia ja toinen kuvaa tarkempia yksityiskohtia. Yksityiskohtien erotuskyky jää hieman huonommaksi kuin Giotto-luotaimella, koska Veneroiden ohitusetäisyydet ovat Giottoa suuremmat.

Paitsi kameroilla, Venerat kuvaavat komeettaa kolmikanavaisella

Venera-alusten rata Auringon ympäri. Luotaimista ensimmäinen on luultavasti perillä ennen Planeetta-A:ta ja Giottoa, toinen niiden jälkeen.

spektrometrillä, joka rekisteröi komeetan spektrin ultraviolettissa, näkyvässä ja infrapunavalossa. Infrapunahavaintoja varten luotaimissa on toinenkin kamera.

Kaasun ja pölyn havaitsemiseen Venerat käyttävät samantapaisia laitteita kuin Giotto. Venerat ovat ainoat luotaimet, joissa on magnetometri komeetan lähiympäristön magneettikenttien mittaamiseksi.

Venera-aluksia rakennetaan kansainvälisenä yhteistyönä. Laitteiden tekoon osallistuu Neuvostoliiton lisäksi Ranska, Länsi-Saksa, Itävalta, Tšekkoslovakia, Unkari, Bulgaria ja Puola. Kumpikin Venera-emäalus painaa noin neljä tonnia, mistä tieteellisten laitteiden osuus on noin 120 kg.

Yhdysvaltain varaslähtö

Samalla kun kolmella taholla rakennetaan Halley-luotaimia, on yksi pieni avaruusalus jo matkalla kohti komeettaa. Ei tosin Halley'n komeettaa, vaan tuntemattomampaa, vuonna 1900 löydettyä Giacobinin-Zinnerin komeettaa.

Asialla on Yhdysvallat, joka ei saa matkaan omaa Halley-luotaintaan. Amerikkalaiset huomasivat 1980-luvun alussa, että heillä on mahdollisuus tehdä komeetan ohilento jo vuonna 1985 käyttämällä yhtä jo avaruudessa olevaa tekokuuta.

Tekokuu on nimeltään ISEE 3 (International Sun-Earth Explorer), joka vuodesta 1978 lähtien on ollut asemapaikallaan noin puolentoista miljoonan kilometrin päässä maapallosta Aurinkoon päin. Alus on tutkinut aurinkotuulta ja planeettainvälistä avaruutta.

Vuoden 1983 alussa ISEE siirrettiin maapallon taakse ja aloitettiin samalla monimutkaisten manööverien sarja, jossa Maan ja Kuun vetovoimia käyttäen luotain potkaistaan komeettaa kohti vievälle radalle.

Giacobinin-Zinnerin pyrstötähti kiertää Aurinkoa radalla, jonka kiertoaika on 6.5 vuotta. Vuonna 1985 Giacobini-Zinner tulee taas Auringon lähelle, ja nyt se saa seurakseen pienen avaruusaluksen. ISEE 3 lentää syyskuun 11. päivänä 1985 komeetan ohitse noin 3000 kilometrin päästä ja lähettää ensimmäisenä luotaimena maailmassa lähitietoja pyrstötähddestä.

ISEE:ssä ei valitettavasti ole kameroita, joten komeettakuvia saadaan vasta puoli vuotta myöhemmin Halleysta. ISEE:ssä on kuitenkin hiukkasia ja magneettikenttiä rekisteröiviä laitteita. Niiden havaintotulokset voivat olla suureksi avuksi Halley-luotaimille, kun niiden lentoratoja ja tutkimusohjelmia viimeisiä kertoja tarkistetaan.

ISEE voi pienellä tavalla osallistua myös Halley'n tutkimiseen. Tekokuu on lokakuun 1985 lopulla täsmälleen Auringon ja Halley'n ko-

Kohde ja saalistaja. Yllä Giacobinin-Zinnerin komeetta kuvattuna keltaisessa ja sinisessä valossa ja alla ISEE 3 -luotain, joka lentää komeetan päin ohi syksyllä 1985. (Komeettakuva U. S. Naval Observatory)

meetan välissä ja tekee siinä havaintoja aurinkotuulesta, joka hetkeä myöhemmin osuu Halley'n komeettaan.

Komeettatutkimuksen tulevaisuus

ISEE ja Halley-luotaimet antavat ihmisille ensimmäiset välittömät tiedot komeetan ytimeistä ja sen lähiympäristöstä. Tähän asti olemme joutuneet hankkimaan kaikki tietomme pyrstötähdistä kaukomittauksilla, joiden erotuskyky ei ole läheskään riittävä esimerkiksi itsensä komeetan, "likaisen lumipallon", näkemiseen.

Komeettatutkimus on siksi tähtitieteen ala, joka planeettatutkimuksen tavoin on nousemassa kokonaan uudelle tasolle avaruusalusten ansiosta. Komeettojen etsiminen, seuranta ja pääosa tutkimuksesta tapahtuu tietysti edelleen maapallolta. Mutta oleellisesti uusia tuloksia saadaan tulevina vuosikymmeninä eniten avaruusluotaimilla.

Millään maalla ei ole Halley-alusten jälkeen kiinteitä suunnitelmia uusiksi komeettaluotaimiksi. Tarkkoja laskelmia on kuitenkin tehty esimerkiksi Yhdysvalloissa. Ohilentoluotainten jälkeen seuraava vaihe on kohtausluotainten lähettäminen. Ne ovat aluksia, jotka pystyvät muuttamaan lentoratansa kulkemaan aivan komeetan radan vieressä. Luotain voi kierrellä jonkin aikaa komeetan ytimen ympärillä. Koska nopeus komeetan suhteen on nyt lähes olematon, luotaimella ei ole vaaraa komeetan pölystä, kuten nopeasti kiitävillä Halley-aluksilla.

Kuvattuaan komeetan ydintä eri puolilta luotain lähestyy sitä ja laskeutuu sen pinnalle. Jarrutusmoottoreita ei tarvita, koska komeetan vetovoima on hyvin pieni. Pinnalla luotain mittaa mm. komeetan aineen kovuutta, pintajään ja -pölyn koostumusta, tekee havaintoja pinnan höyrystymisestä Auringon valossa ja ottaa tarkkoja valokuvia.

Uusia komeettaluotaimia lähetetään ehkä 10–15 vuoden kuluttua. Silloin voimme katsella avaruusaluksen silmin komeetan pintaa ja nähdä yhtä kiinnostavia maisemia kuin ensimmäiset Kuuhun, Venukseen tai Marsiin laskeutuneet luotaimet.

Liite. Lyhytjaksosten komeettojen radat ja periheliatat 1983–1999. Perihelihten jälkeen on ilmoitettu perihelin argumentti (Peri.), nousevan solmun pituus (Node), inkliinaatio (Incl.), perihelietaisyys (q), eksentrisyys (e) ja kiertoaika (P). (Taulukko on B. G. Marsdenin ja E. Roemerin artikkelista Wilkeningin toimittamasta kirjasta Comets)

Periodic Comet	T	Peri.	Node	Incl.	q	e	P
Harrington-Abell	1983 Dec. 2.0	138.57	336.72	10.16	1.7854	0.5388	7.62
Johnson	1983 Dec. 3.3	208.16	116.72	13.68	2.3021	0.3675	6.94
Taylor	1984 Jan. 7.7	355.41	108.19	20.52	1.9613	0.4639	7.00
Crommelin	1984 Feb. 20.2	195.85	250.19	29.10	0.7345	0.9192	27.4
Smirnova-Chernykh	1984 Feb. 21.5	90.87	77.04	6.64	1.5574	0.1462	8.51
Tritton	1984 Mar. 2.7	147.64	300.04	7.03	1.4446	0.5790	6.36
Encke	1984 Mar. 27.7	186.00	334.18	11.93	0.3410	0.8463	3.31
Clark	1984 May 28.9	209.00	59.08	9.51	1.5512	0.5023	5.50
Wolf	1984 May 31.8	162.18	203.51	27.51	2.4153	0.4068	8.21
Paye	1984 July 9.9	203.83	198.98	9.09	1.5935	0.5783	7.34
Tuttle-Giacobini-Kresak	1984 July 28.4	49.51	153.26	9.94	1.1234	0.6430	5.58
Wild 2	1984 Aug. 20.4	40.02	136.07	3.27	1.4940	0.5561	6.18
Wolf-Harrington	1984 Sept. 22.7	186.87	254.21	18.45	1.6158	0.5377	6.54
Neujmin 1	1984 Oct. 8.2	346.84	346.35	14.17	1.5531	0.7756	18.2
Arend-Rigaux	1984 Dec. 1.4	328.91	121.55	17.84	1.4462	0.5987	6.84
Schaumasse	1984 Dec. 7.3	57.38	80.43	11.84	1.2127	0.7033	8.26
Haneda-Campos	1984 Dec. 26.2	305.30	67.27	4.93	1.2212	0.6409	6.27
Tsuchinahan 1	1985 Jan. 2.5	22.77	96.18	10.49	1.5078	0.5745	6.67
Schwassmann-Wachmann 3	1985 Jan. 11.2	198.77	69.27	11.41	0.9365	0.6939	5.35
Honda-Mrkos-Pajdusakova	1985 May 23.9	325.68	88.71	4.22	0.5423	0.8217	5.30
Schuster	1985 June 2.6	355.62	49.99	20.15	1.5345	0.5903	7.25
Russell 1	1985 July 5.3	0.40	230.13	22.66	1.6116	0.5173	6.10
Gehrels 3	1985 July 7.6	226.56	243.52	1.06	3.3954	0.1744	8.34
Kowal 2	1985 July 10.6	189.46	247.08	15.83	1.5025	0.5674	6.47
Tsuchinahan 2	1985 July 21.3	203.16	287.61	6.70	1.7941	0.5024	6.85
Denise	1985 Aug. 3.8	10.84	68.45	20.14	1.6512	0.5518	7.07
Giacobini-Zinner	1985 Sept. 5.7	172.49	194.71	31.88	1.0282	0.7076	6.59
Giclas	1985 Oct. 3.5	276.42	111.87	7.28	1.8370	0.4951	6.94
Boethin	1986 Jan. 23.2	11.62	25.86	5.76	1.1141	0.7780	11.2
Ashbrook-Jackson	1986 Jan. 24.3	348.81	1.95	12.51	2.3070	0.3960	7.46
Halley	1986 Feb. 9.6	111.85	58.15	162.23	0.5871	0.9673	76.0
Holmes	1986 Mar. 14.1	23.34	327.34	19.19	2.1685	0.4118	7.08
Wirtanen	1986 Mar. 19.8	356.08	81.65	11.67	1.0844	0.6521	5.50
Kojima	1986 Apr. 5.1	348.50	154.09	0.88	2.4147	0.3905	7.89
Shajn-Schaldach	1986 May 27.4	216.50	166.24	6.09	2.3307	0.3896	7.46
Whipple	1986 June 25.0	202.05	181.80	9.94	3.0775	0.2606	8.49
Wild 1	1986 Oct. 1.2	167.86	358.05	19.90	1.9770	0.6471	13.3
Forbes	1987 Jan. 2.5	262.74	22.89	4.67	1.4744	0.5658	6.26
Neujmin 2	1987 Apr. 2.4	214.94	307.15	5.37	1.2714	0.5865	5.39
Jackson-Neujmin	1987 May 24.5	196.60	163.12	14.06	1.4374	0.6526	8.42
Grigg-Skjellerup	1987 June 20.1	359.31	212.63	21.11	0.9933	0.6646	5.10
Russell 2	1987 July 4.6	245.65	44.38	12.53	2.1534	0.4173	7.10
Encke	1987 July 17.4	186.26	334.03	11.93	0.3317	0.8499	3.29
Klemola	1987 July 22.6	154.54	175.78	10.96	1.7727	0.6405	10.9
West-Kohoutek-Ikemura	1987 July 27.5	359.84	83.53	30.58	1.5706	0.5444	6.40
Denning-Fujikawa	1987 Aug. 5.1	338.26	35.86	9.43	0.7625	0.8218	8.85
Gehrels 1	1987 Aug. 13.6	28.47	12.91	9.61	2.9882	0.5100	15.1
Comas Sola	1987 Aug. 18.8	45.52	60.38	12.95	1.8303	0.5698	8.78
Schwassmann-Wachmann 2	1987 Aug. 30.6	357.89	125.66	3.76	2.0714	0.3984	6.39
Wild 3	1987 Aug. 31.7	179.56	71.98	15.46	2.2926	0.3672	6.90
Brooks 2	1987 Oct. 16.8	198.14	176.25	5.55	1.8448	0.4907	6.89
Reinuth 2	1987 Oct. 25.7	45.46	296.01	6.98	1.9360	0.4565	6.72
Kohoutek	1987 Oct. 29.8	175.79	268.97	5.92	1.7762	0.4974	6.65
Harrington	1987 Oct. 32.0	233.05	118.94	8.66	1.5862	0.5371	6.84
de Vico-Swift	1987 Dec. 7.1	1.92	358.54	6.09	2.1821	0.4252	7.40
Bus	1987 Dec. 11.6	23.97	181.52	2.57	2.1940	0.3713	6.52
Borrelly	1987 Dec. 18.3	353.32	74.75	30.32	1.3567	0.6242	6.86
Reinuth 1	1988 May 10.0	13.02	119.15	8.14	1.8693	0.5030	7.29
Finlay	1988 June 5.9	322.21	41.74	3.65	1.0944	0.6895	6.95
Tempel 2	1988 Sept. 16.7	191.04	119.12	12.43	1.3834	0.5444	5.29
Longmore	1988 Oct. 12.2	195.70	15.00	24.39	2.4090	0.3414	7.00
du Toit 1	1988 Dec. 25.9	257.05	21.84	18.69	1.2735	0.7879	14.7
Tempel 1	1989 Jan. 4.4	178.98	68.33	10.54	1.4967	0.5197	5.50
d'Arrest	1989 Feb. 4.0	177.07	138.80	19.43	1.2921	0.6246	6.39
Perrine-Mrkos	1989 Mar. 1.4	166.56	239.39	17.82	1.2977	0.6378	6.78

Periodic Comet	T	Peri.	Node	Incl.	q	e	P
Tempel-Swift	1989 Apr. 12.1	163.42	240.31	13.17	1.5884	0.5391	6.40
Churyumov-Gerasimenko	1989 June 18.8	11.37	50.36	7.11	1.2996	0.6303	6.59
Pons-Winnecke	1989 Aug. 19.9	172.32	92.75	22.27	1.2610	0.6335	6.78
Gunn	1989 Sept. 24.9	196.94	67.87	10.37	2.4716	0.3144	6.84
Brorsen-Metcalf	1989 Sept. 28.9	129.73	310.84	19.33	0.4781	0.9720	70.6
Lova	1989 Oct. 9.2	73.62	341.72	12.20	1.6796	0.6141	9.08
du Toit-Neujmin-Delporte	1989 Oct. 18.6	115.35	188.31	2.85	1.7154	0.5017	6.39
Schwassmann-Wachmann 1	1989 Oct. 26.2	49.86	312.12	9.37	5.7718	0.0447	14.9
Gehrels 2	1989 Nov. 3.7	183.55	215.52	6.67	2.3483	0.4098	7.94
Clark	1989 Nov. 28.3	208.93	59.07	9.50	1.5558	0.5013	5.51
Kopff	1990 Jan. 20.3	162.82	120.30	4.72	1.5851	0.5430	6.46
Tuttle-Giacobini-Kresak	1990 Feb. 8.0	61.57	140.88	9.23	1.0680	0.6557	5.46
Saquin	1990 Apr. 3.3	162.84	181.81	18.72	1.8137	0.6633	12.5
Schwassmann-Wachmann 3	1990 May 18.8	198.78	69.26	11.41	0.9363	0.6940	6.34
Tritton	1990 July 7.2	147.75	299.95	7.05	1.4357	0.5807	6.34
Honda-Mrkos-Pajdusakova	1990 Sept. 12.7	325.76	88.64	4.23	0.5412	0.8219	5.30
Encke	1990 Oct. 28.5	186.25	334.04	11.94	0.3309	0.8502	3.28
Johnson	1990 Nov. 19.0	208.28	116.67	13.66	2.3126	0.3661	6.97
Kearns-Ewee	1990 Nov. 23.2	131.84	315.03	9.01	2.2154	0.4867	8.97
Wild 2	1990 Dec. 17.3	41.54	135.60	3.25	1.5779	0.5410	6.37
Taylor	1990 Dec. 31.2	355.59	108.18	20.55	1.9504	0.4657	6.97
Russell 1	1991 Jan. 4.0	333.74	225.80	17.72	2.1734	0.4387	7.62
Swift-Gehrels	1991 Feb. 22.1	84.83	313.73	9.25	1.3547	0.6917	9.21
Wolf-Harrington	1991 Apr. 4.9	186.99	254.17	18.47	1.6078	0.5391	6.51
Haneda-Campos	1991 Apr. 8.6	305.40	67.21	4.93	1.2249	0.6402	6.28
Van Biesbroeck	1991 Apr. 25.0	134.15	148.44	6.62	2.4010	0.5527	12.4
Arend	1991 May 25.2	47.07	355.50	15.93	1.8500	0.5370	7.99
Harrington-Abell	1991 May 31.9	139.18	334.60	10.25	1.7607	0.5421	7.54
Tsuchinahan 1	1991 Aug. 30.8	22.76	96.19	10.50	1.4975	0.5764	6.65
Wirtanen	1991 Sept. 21.1	356.19	81.60	11.67	1.0830	0.6523	5.50
Arend-Rigaux	1991 Oct. 3.0	329.06	121.45	17.89	1.4378	0.6001	6.82
Paye	1991 Nov. 15.6	203.96	198.88	9.09	1.5934	0.5782	7.34
Kowal 2	1992 Jan. 1.2	189.62	247.01	15.84	1.4995	0.5678	6.46
Chernykh	1992 Jan. 28.0	263.20	129.75	5.08	2.3563	0.5938	14.0
Giacobini-Zinner	1992 Apr. 14.6	172.52	194.68	31.83	1.0340	0.7066	6.61
Tsuchinahan 2	1992 May 20.3	203.15	287.59	6.72	1.7822	0.5044	6.82
Kowal 1	1992 June 1.9	180.49	28.07	4.36	4.6736	0.2344	15.1
Grigg-Skjellerup	1992 July 24.9	359.27	212.64	21.10	0.9946	0.6644	5.10
Smirnova-Chernykh	1992 Aug. 2.9	88.83	76.84	6.63	3.5727	0.1470	8.57
Neujmin 2	1992 Aug. 20.3	214.90	307.17	5.38	1.2655	0.5879	5.38
Wolf	1992 Aug. 28.4	162.30	203.44	27.48	2.4275	0.4056	8.25
Daniel	1992 Aug. 31.6	11.01	68.37	20.13	1.6497	0.5519	7.06
Schuster	1992 Sept. 6.6	355.72	49.92	20.13	1.5392	0.5896	7.26
Giclas	1992 Sept. 18.2	276.54	111.80	7.28	1.8461	0.4938	6.96
Gale	1992 Dec. 17.0	215.44	59.26	10.73	1.2136	0.7581	11.2
Schaumasse	1993 Mar. 5.0	57.46	80.38	11.84	1.2023	0.7048	8.22
Forbes	1993 Mar. 15.8	310.64	333.59	7.16	1.4495	0.5676	6.14
Holmes	1993 Apr. 10.6	23.23	327.34	19.16	2.1767	0.4104	7.09
Vaisala 1	1993 Apr. 29.2	47.36	134.40	11.60	1.7830	0.6347	10.8
Slaughter-Burnham	1993 June 19.9	44.08	345.75	8.15	2.5426	0.5036	11.6
Ashbrook-Jackson	1993 July 13.9	348.68	1.97	12.49	2.3160	0.3950	7.49
Gehrels 3	1993 Nov. 12.1	227.19	243.38	1.06	3.3834	0.1754	8.31
Neujmin 3	1993 Nov. 13.3	146.98	149.77	3.99	2.0015	0.5860	10.4
Shajn-Schaldach	1993 Nov. 16.0	216.52	166.21	6.08	2.3444	0.3877	7.49
West-Kohoutek-Ikemura	1993 Dec. 25.8	359.97	83.48	30.54	1.5768	0.5433	6.42
Schwassmann-Wachmann 2	1994 Jan. 24.1	358.15	125.62	3.76	2.0703	0.3988	6.39
Encke	1994 Feb. 9.4	186.28	334.02	11.94	0.3309	0.8502	3.28
Kojima	1994 Feb. 18.6	348.50	154.15	0.89	2.4000	0.3924	7.85
Tempel 2	1994 Mar. 16.8	194.86	117.58	11.98	1.4835	0.5224	5.48
Bus	1994 June 13.8	23.83	181.53	2.57	2.1844	0.3732	6.51
Tuttle	1994 June 27.0	206.71	269.85	54.69	0.9980	0.8241	13.5
Kohoutek	1994 June 29.0	175.93	268.91	5.91	1.7854	0.4960	6.67
Reinuth 2	1994 June 29.8	45.92	295.43	6.98	1.8930	0.4641	6.64
Tempel 1	1994 July 3.3	178.87	68.32	10.55	1.4942	0.5202	5.50
Wild 3	1994 July 20.5	179.23	71.94	15.46	2.3002	0.3658	6.91

Periodic Comet	T	Peri.	Node	Incl.	q	e	P
Tempel-Swift	1995 Aug. 30.5	163.31	240.30	13.18	1.5837	0.5400	6.39
Reinmuth 1	1995 Sept. 3.4	13.25	119.08	8.13	1.8736	0.5025	7.31
Schwassmann-Wachmann 3	1995 Sept. 22.3	198.76	69.28	11.42	0.9330	0.6948	5.34
Jackson-Neujmin	1995 Oct. 6.6	200.35	160.02	13.48	1.3810	0.6614	8.24
Longmore	1995 Oct. 9.4	195.79	14.96	24.40	2.3991	0.3430	6.98
Perrine-Mrkos	1995 Dec. 7.2	166.56	239.91	17.84	1.2928	0.6386	6.77
Honda-Mrkos-Pajdusakova	1995 Dec. 30.1	324.98	89.49	4.11	0.5328	0.8241	5.27
Pons-Winnecke	1996 Jan. 2.7	172.30	92.74	22.30	1.2559	0.6344	6.37
Churyumov-Gerasimenko	1996 Jan. 18.4	11.34	50.36	7.11	1.3000	0.6302	6.59
du Toit-Neujmin-Delporte	1996 Mar. 5.9	115.26	188.25	2.85	1.7197	0.5008	6.39
Dennning-Fujikawa	1996 June 4.7	337.41	35.76	9.18	0.7882	0.8183	9.03
Comas Solis	1996 June 11.0	45.79	60.17	12.82	1.8460	0.5680	8.83
Kopff	1996 July 2.2	162.75	120.29	4.72	1.5795	0.5441	6.45
Gunn	1996 July 24.2	196.79	67.86	10.38	2.4619	0.3163	6.83
Tritton	1996 Nov. 2.9	147.63	299.97	7.04	1.4365	0.5805	6.34
Wirtanen	1997 Mar. 14.5	356.37	81.52	11.71	1.0635	0.6568	5.46
Boethin	1997 May 1.1	20.02	16.07	4.99	1.1581	0.7747	11.7
Wild 2	1997 May 7.0	41.67	135.56	3.25	1.5824	0.5402	6.39
Encke	1997 May 23.5	186.28	334.01	11.92	0.3314	0.8500	3.28
Gehrels 2	1997 Aug. 7.6	192.93	209.81	6.25	1.9980	0.4640	7.20
Haneda-Campos	1997 Aug. 14.4	306.94	66.02	4.94	1.2673	0.6319	6.39
Grigg-Skjellerup	1997 Sept. 3.8	359.34	212.61	21.09	0.9968	0.6639	5.11
Wolf-Harrington	1997 Sept. 29.4	187.16	254.04	18.51	1.5818	0.5440	6.46
Johnson	1997 Oct. 31.9	207.97	116.68	13.67	2.3084	0.3672	6.97
Taylor	1997 Dec. 15.8	355.41	108.17	20.55	1.9479	0.4661	6.97
Neujmin 2	1998 Jan. 7.3	214.94	307.11	5.37	1.2701	0.5868	5.39
Tempel-Tuttle	1998 Feb. 27.4	172.52	234.56	162.48	0.9758	0.9056	33.2
Tschurninhan 1	1998 Apr. 19.4	22.74	96.15	10.50	1.4958	0.5766	6.64
Klemola	1998 May 1.9	154.54	174.85	11.10	1.7545	0.6413	10.8
Koval 2	1998 May 12.9	194.26	242.74	14.40	1.3458	0.6008	6.19
Arend-Rigaux	1998 July 13.2	330.55	121.05	18.30	1.3683	0.6116	6.61
Russell 1	1998 Aug. 25.3	333.90	225.72	17.71	2.1809	0.4379	7.64
Lovas	1998 Oct. 11.7	74.52	339.29	12.23	1.6920	0.6130	9.14
Giacobini-Zinner	1998 Nov. 23.8	172.55	194.70	31.86	1.0337	0.7066	6.61
Harrington-Abell	1998 Dec. 7.1	139.29	336.58	10.27	1.7491	0.5436	7.50
Tschurninhan 2	1999 Mar. 8.6	203.24	287.45	6.71	1.7704	0.5064	6.79
Faye	1999 May 6.5	204.99	198.63	9.05	1.6568	0.5683	7.52
Forbes	1999 May 8.5	310.83	333.48	7.16	1.4493	0.5675	6.13
Arend	1999 Aug. 3.0	49.00	354.68	19.17	1.9168	0.5303	8.24
Giclas	1999 Sept. 1.9	276.47	111.76	7.28	1.8448	0.4942	6.97
Tempel 2	1999 Sept. 8.4	194.99	117.54	11.98	1.4817	0.5228	5.47
Kearns-Evée	1999 Sept. 17.5	127.53	312.32	9.34	2.3374	0.4767	9.44
Schwester	1999 Dec. 16.8	355.84	49.91	20.13	1.5496	0.5880	7.29
Wild 1	1999 Dec. 27.4	167.99	357.83	19.93	1.9609	0.6497	13.2

Kirjallisuutta

Komeetoista kertovia yleisteesia ovat esim. N. B. Richterin selkeä, joskin hieman vanhentunut *The Nature of Comets* (Methuen 1963), F. M. Branleyn *Comets, Meteoroids and Asteroids* (Thomas Y. Crowell 1974) ja Robert S. Richardsonin yleistajuinen *Getting Acquainted with Comets* (McGraw-Hill 1967). Uusimpia yleisteesia ovat Nigel Calderin *The Comet is Coming!* (British Broadcasting Corporation 1980, ruotsiksi *Kometen kommer*, Brombergs 1981), John C. Brandtin ja Robert D. Chapmanin *Introduction to Comets* (Cambridge University Press 1981) ja Laurel L. Wilkeningin toimittama *Comets* (The University of Arizona Press 1982). Calderin kirja on hyvin kevyt ja yleistajuinen, Brandtin ja Chapmanin kirja on sopiva tähtitieteen harrastajille, ja Wilkeningin teos on tarkoitettu lähinnä ammattilaisille ja vakaville harrastajille. Sen lähes 800 sivulla on usean komeetta-asiantuntijan katsaus omalta erikoisalaltaan.

Komeettojen havaitsemisesta kertovat M. Hänninen ja K. Kaila *Tähtitieteen harrastajan käsikirja 1:ssä* (Ursa 1982). Nopeita tietoja uusista pyrstötähdistä saa *IAU:n sähköistä*. Pyrstötähtien paikkatietoja julkaisee esim. *Comet News Service* (McDonnell Planetarium).

Kuvaukset useimmista havaituista komeetoista löytyvät S. K. Vsekhsvyatskiin/kirjasta *Physical Characteristics of Comets* (Nasa ja NSF 1964) ja sen venäjänkielisistä jatko-osista.

Komeettatutkimuksen vanhaa historiaa on esitelty alun perin 1906 ilmestyneessä J. L. E. Dryerin kirjassa *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (Dover 1953) ja alun perin 1898 ilmestyneessä Arthur Berryn hieman suppeammassa kirjassa *A Short History of Astronomy* (Dover 1961). Uudempaa historiaa ja yleistietoutta on Scientific American -lehden artikkeleista kootussa kirjassa *Comets* (toim. J. C. Brandt, W. H. Freeman 1981). Halleysta ja hänen komeetastaan on Raimo Lehti kirjoittanut *Tähtiäika*-lehdessä 1974, s. 122.

Kreutzin ryhmän alkuperää on pohtinut Brian G. Marsden *Astronomical Journal* -lehdessä (72, 1170; 1967). Suomalaisten havaitsemista komeetoista on kerrottu *Tähtitaivas*-lehden vuosien 1943 ja 1958 numeroissa (s. 3 ja s. 5-8).

Kaikkien havaittujen komeettojen ratatiedot löytyvät Brian G. Marsdenin luettelosta *Catalogue of Cometary Orbits*, 4th edition (International Astronomical Union 1982). Ratoja käsitteleviä artikkeleita on kirjassa *The Motion, Evolution of Orbits and Origin of Comets*, toim. G. A. Chebotarev, E. I. Kazimirchak-Polonskaja ja B. G. Marsden (IAU Symposium No. 45, D. Reidel 1972).

Komeettojen alkuperää käsittelevä luku noudattelee H. Ojan julkaisematonta tähtitieteen laudaturtyötä *Komeettojen syntyteoriat* (1971). Komee-

tat ja maapallo -luvussa esiintyviä ajatuksia on mm. Victor Cluben ja Bill Napierin kirjassa *The Cosmic Serpent* (Faber ja Faber 1982), C. Ponnampieruman toimittamassa kirjassa *Comets and the Origin of Life* (D. Reidel 1981) sekä useissa Fred Hoylen ja Chandra Wickramasinghen kirjoissa.

Halley'n komeetan tarkimmat ratalaskut löytyvät Donald K. Yeomansin artikkelista *Astronomical Journal* -lehdessä (82, 435; 1977) ja näihin laskuihin perustuvasta Yeomansin kirjasta *The Comet Halley Handbook, an observer's guide* (Nasa ja JPL 1981).

Kansainvälisen Halley-tutkimuksen peruslinjat on esitetty raportissa *The International Halley Watch, Report of the Science Working Group* (Nasa 1980), ja tutkimushankkeiden edistymisestä kerrotaan neljästi vuodessa ilmestyvässä uutislehdessä *International Halley Watch Newsletter* (Nasa).

Halley-luotaimista on selostukset mm. julkaisuissa *Planet-A, Japanese First Interplanetary Flight* (Institute of Space and Aeronautical Science 1980), *Giotto, Comet Halley Flyby* (European Space Agency SCI (80) 4, 1980) ja L. S. Marotšnik — G. A. Skuridin, *Na vstreču s kometoj Galleja* (Priroda 8/1982), joissa on myös yleisempiä tietoja komeetoista ja Halleysta. Komeettatutkimusta seurataan useissa lehdissä, joista mainittakoon *Sky and Telescope*, *Astronomy*, *Sterne und Weltraum*, *Aviation Week and Space Technology*, *Spaceflight* ja *Tähdet ja Avaruus*.

Hakemisto

absoluuttinen suuruusluokka 46, 57, 136
 Alcor 170
 andromeidit 78
 Antal, M. 140
 apheli 30
 Apian, P. 25, 31, 117
 Apollonius Mynduslainen 24
 Aristoteles 22, 23, 27, 85
 Artemidorus Pariolainen 24
 asteroidit ks. pikkuplaneetat
 astrologia 22
 AU (astronomical unit) ks. tähtiteellinen yksikkö
 Aurinko 13, 14, 153–154
 Aurinkoa hipovat komeetat ks. Kreutzin komeetat
 aurinkokunta 13, 14
 aurinkotuuli 120–121, 123–124, 130
 Barnham 53
 Belton, M. 163
 Bertaux, J. L. 63
 Bessel, F. 40, 46, 57, 75
 Beyer, M. 120
 Biela, W. 75
 bieliidit 78
 Biermann, L. 120
 Birkelad 44
 Bjurbölen meteoriitti 19
 Blamart, J. E. 63
 Bode, J. E. 15
 Bolelli, C. 69
 Bond 147
 Borelli, G. 28
 Brache, Tycho 26, 85
 Bradley, J. 39
 Brady, J. L. 53, 161
 Brownleen hiukkaset 175
 Burckhart, J. K. 41
 Butcher, H. 163

Cardan, J. 25
 Carr, G. P. 85
 Carpenter, E. 53, 161
 Cassini, M. 28, 35
 Catalogue of Cometary Orbits 104
 Catalogus stellarum australium 36
 CCD-kamera (Charge-Coupled Device) 162–163
 Ceres 15
 Chang, Y. C. 50, 53
 Chiron 17
 Clairaut, A. 33
 Cometographia 28–29
 Cowell, P. 42, 43
 Crommelin, A. C. D. 42, 43
 Cunningham 68
 Damoiseau 39
 Darwin, Charles 157
 De Revolutionibus 26
 De Subtilitate 25
 de Vico, F. 39, 52, 76
 Domouseau 39
 Donn, B. 141
 Donner, A. 98
 Domouchel 52
 Dunlop 56
 ekliptika 105
 eksentrisyys 105–106
 ellipsi 30, 105–106
 elämän synty 157–158
 Encke, Johann 55–56
 Ephoros 85, 130
 ESA (European Space Agency) 185
 Estangel 65
 eta akvaridit 48–49, 175, 179
 Eudoksos Knidoslainen 22
 Everhart, E. 151
 Flamsteed, J. 28, 35, 37
 Fracastor, J. 25

Galle, J. G. 76
 Gambert 75
 Gauss, C. F. 56
 Giacobini 140
 Gibson, E. G. 85
 Gibson, J. 92
 Giotto 129, 184, 187–189
 Greenwichin observatorio 37

Hagecius 27
 Halley, Edmund 31–33, 35–39
 Halley-luotaimet
 Giotto 129, 184, 187–189; Planeetta-A 184–187; Vega 184, 189–191
 Hartley, M. 133
 Herschel, C. 55
 Herschel, W. 39, 55
 Hevelius, J. 28, 35, 85
 Historia Coelestis 37
 Hoyle, Fred 147, 157–158
 Huth 75
 hyperbeli 30, 105–106

IAU (International Astronomical Union) 58, 103–104, 107
 Icarus 15
 IHW (International Halley Watch) 173–181
 Ikeya, K. 68
 inklinaatio 105
 Io 148–149
 IRAS (Infra-Red Astronomical Satellite) 154
 ISEE 3 (International Sun-Earth Explorer) 191–193
 isonakselin puolikas 104

Jupiter 13, 15, 21, 28, 32, 82, 108, 114, 148
 Jupiterin komeettaperhe 108, 114, 151

Kaarle II 36, 37
 kaksoispistekeino 91
 kansainvälinen Halley-tutkimus ks.

IHW
 Katgert 149
 Keplerin lait 30, 35
 Kepler, Johannes 28, 32, 52, 103
 kerääntymisakseli 147
 kerääntymisteoria 145–148
 Kiang, T. 161
 Kohoutek, L. 78–79, 82
 komeetat
 alkuperäinen rata 113–114; apeli jakautuma 108; inkliinaatiojakautuma 108–109; jaksolliset 104, 107–108; himmeneminen 141; kaasupurkaukset 131; kaasupyrstö 117–119, 121–123, 126; kirkkaus 135, 178; koma 117, 127, 129; koostumus 125–130; lukumäärä 103; lumipallomalli 59, 63, 125–126, 128, 151; perihelijakautuma 109; pitkäjaksoiset 108–110; plasmapyrstö ks. kaasupyrstö; pää 117, 129–130; pölypyrstö 117–119, 121–123, 126; radanmääritys 106–107, 174; radiosäteily 178; spektri 44, 124–129, 175, 178–179; suuruusluokka 135; syntyteoriat 145–151; tuleva rata 113–114; törmäykset maapalloon 154–157; vastapyrstö 121–123; vettyhalo 117, 127–128, 130; ydin 48, 59, 61–63, 117, 124, 127–133, 141, 177, 188;
 Arend-Roland 89, 122–124, 136–137; Barnard 43; Bennett 82, 89, 117, 127–128, 136, 138; Biela 75–78, 87, 132; Boeth 119; Bradfield 129; Brooksit 87, 98, 131; Chéseaux 87; Coccia 87; Comas Solá 96; Cunningham 136–138; Donati 87; du Toit 68, 71; Encke 55–63, 107, 139, 141–142; Flangergues 87; Giacobini-Zinner 142, 191–192; Halley 32–35, 38–53, 57, 85, 87, 106, 137, 141, 161–193; Hartley 133;

Howard-Koomen-Michels 71–72, 110; Humason 143; Ikeya-Seiki 65, 68–69, 71, 89, 131; IRAS-Araki-Alcock 89, 128, 178; Kohoutek 75, 79–85, 89, 119, 123, 124–125, 128–129, 137, 178; Kopff 132; Lexell 97–100, 114–115; Morehouse 135; Mori-Sato-Fujikawa 58; Mrkos 89, 118, 123–124; Otermat 91, 93–97; Padjusakova 138; Pereyra 68, 71; Pons-Winnecke 141–142; Schuster 110; Schwassmann-Wachmann 1 ja 2 95, 119, 139–140; Solwind 2 ja 3 71–72; Stephan-Oterma 58, 91, 94; Tago-Sato-Kosaka 127; Tuttle-Giacobini-Kresak 140–141; West 78, 89, 103, 118, 128, 131–133, 178; West-Kohoutek-Ikemura 119; Westphal 136, 138–139; Wilk 107; Wirtanen 132; Wolf 141; Väisälät 92–94, 96–97

komeettaluotaimet ks. Halley-luotaimet
 komeettapilveteoria 145, 149–151
 Kopernikus, Nikolaus 26
 kraatterit 16, 17
 Kresak, L. 140
 Kreutz 67
 Kreutzin komeetat 31, 65–73, 110
 Kuu 16–17, 21, 38, 62

La Hire 52
 Laplace 146
 Larson, S. 177
 Laugier, P. 41
 LePoole 149
 Lexell, A. 87, 98
 Liller, W. 82–83
 Lindelöf 85
 Linnunrata 13, 111–112, 153
 Longomontanus 32
 Lyttleton, R. A. 73, 147, 149

Maa 13–17, 21, 26

magneettikenttä
 Auringon 123; planeettainvälinen 123–124; sektorirakenne 123–124

magnitudi ks. suuruusluokka

Mariner II 120
 Mars 13, 15, 21, 28
 Marsden, B. G. 60, 70–71, 73, 82, 104, 133
 Mechain, P. 55
 Merkurius 13, 16–17, 21
 Messier, Charles 39, 52, 55, 75, 97
 meteori ks. tähdenlento
 meteoriitti 19
 meteoroidi 18–19, 125, 148
 Meteorologica 22
 Mizar 170
 Montaigne 75
 Moury 76
 Mrkos 92
 Müller, Johannes ks. Regiomontanus

Neptunus 13, 108, 114
 Newtonin lait 30, 35, 105
 Newton, Isaac 28, 30–31, 35, 106
 NGC 6744 13
 nousevan solmun pituus 105

OA0-2 (Orbiting Astronomical Observatory) 127–128
 OGO-5 (Orbiting Geophysical Observatory) 127
 Oort, Jan 110–111, 149
 orionidit 48–49, 179
 Oortin pilvi 103, 110–112, 151, 154
 Oritiz, E. 69
 Oterma, Liisi 92–95

Palitsch, J. 39, 52
 paraabeli 30, 105–106
 parallaksi 25, 27
 periheli 30
 periheli aika 105
 perihelin argumentti 105
 Peurbach, G. 24

Piazz, G. 15
 Picard 52
 pikkuplaneetat 15, 17, 91, 93
 planeetat 13–15, 21, 113–114
 Planeetta-A 184–187
 planetoidit ks. pikkuplaneetat
 Plato 22
 Pluto 13, 92
 Pohjantähti 19
 Pons 55, 75
 Pontecoulant 39
 Principia 31
 Ptolemaios 22, 25
 purkausteoria 145, 148–149
 pyrstötähdet ks. komeetat
 Pythagoras 21

Rahe, J. 141
 rajamagnitudi 165
 rataelementit 104–105
 reaktivoimat 60–62, 115
 Regiomontanus 24, 25
 Ritchey, G. W. 177
 Rosenberger 39

Santini 76
 Saturnus 13, 21, 28, 32, 108, 114
 Schmidt, B. 91
 Schmidt-kamera 91
 Secci, A. 77
 Seiler, F. 140
 Sekanina, Z. 59–61, 63
 Seki, T. 68, 82
 Seneca 24
 Sheeley 71
 Shuster, H. E. 63
 Skylab 80, 81, 128

Solwind (P78-1) 70, 72
 spektroheliografi 43
 Struve, O. 77
 Struwe, W. 52
 suuruusluokka 46–47
 säteilypaine 118–119

Thuronusius, A. 98
 Titiuksen-Boden laki 14–15
 Titius, J. K. 15
 tulipallo 18, 19
 Tunguskan räjähdys 155–156
 Tuttle, C. 140
 tähdenlento 18–19, 48
 tähdenlentoparvet 48, 78, 179
 tähdistö 21
 tähtienvälinen syntyteoria 145–146
 tähtitieteellinen yksikkö 14

Uranus 13, 39, 108, 114

van Biesbroeck 92
 van Woerkom 149
 Venera-alukset 184, 189–191
 Venus 13, 17, 21, 80
 Whipple, F. 59, 61, 63, 94, 125–126, 128, 151
 White, G. 69
 Wickramasinghe, C. 157–158
 von Seeliger 146
 Wolf, Max 42–43, 53
 Vshesvjatski, S. K. 148–149
 vuorovesivoimat 131
 Väisälä-teleskooppi 91
 Väisälä, Yrjö 91–94, 96

Yeomans, D. K. 60, 161–162, 164

Kirjoittajat

Fil.lis. **Kari Kaila** on syksystä 1983 alkaen toimessa Oulun yliopiston fysiikan laitoksella. Hän on 15 vuoden ajan harrastanut aktiivisesti tähtitiedettä ja julkaissut mm. kirjan Tähtitaivaan opas. Kaila johtaa Ursan komeettajaostoa.

Dos. **Heikki Oja** on toimessa Helsingin yliopiston observatoriossa. Hän on Tähdet ja Avaruus -lehden toimitussihteeri ja johtaa Ursan julkaisutoimintaa. Oja on tutkinut mm. komeettojen alkuperää ja ratojen jakautumaa.

Mauri Valtonen on Turun yliopiston tähtitieteen professori. Hän on kirjoittanut kirjan Maailmankaikkeutta tutkimassa ja tutkinut komeetoista mm. niiden alkuperää ja sieppausmekanismeja.

Fil.lis. **Tapio Korhonen** toimii observaattorina Turun yliopiston tähtitornilla. Hän on osallistunut Tuorlan observatorion laitteiden suunnitteluun ja rakentamiseen ja kuvannut niillä mm. komeettoja.

TÄHTITIETEELLINEN YHDISTYS URSA

Ursa on Suomen suurin tähtiharrastusyhdistys. Se perustettiin 1921, ja vuonna 1983 sen jäsenmäärä oli yli 4 000. Tästä noin puolet on Uudeltamaalta, loput muualta Suomesta. Jäsenistöön kuuluu erityisen paljon nuorisoa.

Ursa toimii monella tavalla maamme tähtitieteen harrastuksen edistämiseksi. Se järjestää tähtinäytäntöjä Helsingin Kaivopuiston tähtitorinissa (tornin puh. 90-653 505) sekä esitelmätilaisuuksia. Sillä on laaja tähtitieteellinen kirjasto Helsingissä, os. Laivanvarustajank. 3. Kirjasto on auki maanantaisin ja torstaisin klo 18–20 ja tiistaisin ja keskiviikkoisin klo 15–17, jolloin myös puhelimeen vastataan (90-174 048). Kirjoja voi lainata myös postitse.

Ursan piirissä toimii harrastusjaostoja, jotka suorittavat tähtitieteellisiä havaintoja mm. planeetoista, Auringosta, muuttuvista tähdistä, tähdenpeitoista, meteoreista. Kaukoputken rakentajille on oma jaostonsa.

Viime vuosina Ursa on laajentanut kustannustoimintaansa. Se julkaisee kuudesti vuodessa ilmestyvää Tähdet ja Avaruus -lehteä ja vuosittain kirjasen Tähdet 19XX. Lisäksi viime vuosina on ilmestynyt useita kirjoja ja monisteita. Ursan tuotteita saa kirjakaupasta tai suoraan Ursasta, jolloin hinta (postikuluineen) on hieman alempi kuin kirjakaupahinta. Ursa on julkaissut myös diasarjoja tähtitieteen aiheista. Vuonna 1980 ilmestyi Ursan ensimmäinen science fiction -kirja ja 1981 Aikakone-lehden ensimmäinen numero.

Ursan jäseneksi voi liittyä jokainen tähtitieteestä kiinnostunut. Jäsenetuna saa mm. Tähdet ja Avaruus -lehden. Vuonna 1983 jäsenmaksu on 40 mk alle 20-vuotiailta ja 60 mk vanhemmilta.

Helsingin lisäksi ainakin 20 eri paikkakunnalla Suomessa toimii oma tähtiharrastajien yhdistys. Ks. luettelo s. 206.

Pyydä ilmaiset esitteet Ursasta ja Ursan julkaisuista osoitteesta

Tähtitieteellinen yhdistys Ursa
Laivanvarustajankatu 3
00140 HELSINKI 14
tai soita puh. 90-174 048

TÄHDET JA AVARUUS

Suuri lehti tähtitieteen ystäville! Kuudesti vuodessa ilmestyvä Tähdet ja Avaruus tuo sinulle luettavaksi tähtitieteen ja avaruustutkimuksen jännittävimmät löydöt, kauneimmat tähtikuvat ja parhaat havaintovihjeet. Kiintoisaa luettavaa niin nojatuolitähtitieteilijälle kuin aktiiviselle taivaan tarkkaajalle. Vuosittain noin 200 A4-kokoista sivua. Syksystä 1983 alkaen joka numerossa myös komeita värikuvia.

Esimerkkejä vuoden 1983 numeroista: Maapallon elämä alkusolusta ihmiseen, Suomen tähtitiede 1980-luvulla, Andromedan galaksi, Aurinkoista geometriaa, Dobson-kaukoputki on harrastajan toiveuni.

Säännöllisinä palstoina mm. Tähtitieteen uutisia, Avaruuskatsaus, Ufonurkka, Havaittujen palstat, Syvä taivas, Science fiction, Tähtiseurojen kuulumisia.

Tähdet ja Avaruus -lehden saavat jäsenetuna kaikki Tähtitieteellisen yhdistyksen Ursan jäsenet. Jäsenmaksu 1983 on aikuisilta 60 mk ja alle 20-vuotiailta 40 mk. Vuodelle 1984 maksut voivat hieman nousta.

Tähdet ja Avaruus -lehden voi myös tilata erikseen liittymättä jäseneksi. Tilaushinta 1984 on 65 mk (6 numeroa). Tilaukset kätevimmin suoraan Ursaan.

TÄHTIHARRASTUSSEURAT ERI PAIKKAKUNNILLA

Nimi	Perustettu	Jäseniä	Tähtitorni	Osoite
Forssan Uranus	1970	40		c/o Risto Heikkilä, Kartanonkatu 17 D 70, 30100 Forssa 10
Ursa, Helsinki	1921	4000	+	Laivanvarustajankatu 3, 00140 Helsinki 14
Polaris, Hyvinkää	1970	40		c/o Jukka Hongisto, Munkinkatu 4, 05820 Hyvinkää 2
Vega, Hämeenlinna	1981	60	+	c/o Reijo Lundahl, Kylätie 22 A 6, 13500 Hämeenlinna 50
Etelä-Karjalan Nova	1975	45		c/o Martti Muinonen, Kersantinkuja 2, 53810 Lappeenranta 81
Seulasen, Joensuu	1973	50	+	c/o Aulis Koivusalo, Salminkatu 15, 80200 Joensuu 20
Jyväskylän Sirius	1959	120	+	c/o Juhani Tarhanen, Kirkkokatu 5 B 12, 41160 Tikkakoski
Natura Karjaa		40	+	c/o Kaj Malm, Läppg.2, 10300 Karjaa
Alfa-80, Kinnula	1980	60	+	c/o Arvo Kuusela, Keskuskoulu, 43900 Kinnula
Kuopion Saturnus	1956	90	+	c/o Jari Hoffrén, Tiuhottarentie 2 A 13, 70500 Kuopio 50
Lahden Ursa	1948	120	+	c/o Juhani Salmi, Vesijärvenkatu 36 C 40, 15140 Lahti 14
Lohjan Ursa	1954	45	+	c/o Erkki Raita, Laurinkatu 32 A 15, 08100 Lohja 10
Mikkelin Ursa	1923	50	+	c/o Seppo Tiihonen, Huvilakatu 8, 50100 Mikkeli 10
Kymen Ursa	1980	50		c/o Martti Laakso, Länsiasemantie 25, 46800 Myllykoski
Arktos, Oulu	1962	80	+	c/o Juha Tervaskanto, Ratakatu 14 C 4, 90140 Oulu 14
Porin Karhunvartijat	1974	80		c/o Jarl Lund, Valtakatu 5 D 51, 28100 Pori 10
Rauman Kvasaari	1982	65		c/o Tero Mäkipää, Tarvola, 26500 Kolla
Riihimäen tähtitieteellinen yhdistys	1977	30		c/o Heikki Kylmä, Päivöläntie 14, 11120 Riihimäki 12
Lapin Ursa	1983	30		c/o Mauri Timonen, Veitikantie 24-26 B 18, 96100 Rovaniemi 10
Tampereen Ursa	1950	140	+	c/o Reijo Järvinen, Itsenäisyydenkatu 12 B 22, 33500 Tampere 50
Turun Ursa	1928	250	+	c/o Sirpa Saarinen, Stålarinkatu 1 A 14, 20810 Turku 81.

AIKAKONE

Uusi lehti science fictionin maailmasta. Jokaisessa numerossa saat luettavaksesi hyvän ulkomaisen ja kotimaisen tieteisnovellin. Lisäksi asia-artikkeleita luonnon-tieteiden uusimmista saavutuksista, tieteiskirjoista ja tieteiskirjailijoista. Vakiopalstoilla uutisia, kirja- ja elokuva-arvosteluja ym. Kuvituksena kotimaisten kuvittajien korkeatasoisia sf-piirroksia. Vuosikerta 1983 (4 numeroa) 40 mk.

URSAN UUTUUKSIA 1983-84

Uusia ikkunoita maailmankaikkeuteen, toim. K. Mattila ja H. Oja. Tähtitieteen uusimmat havaintomenetelmät ja tulokset. Kirja on muokattu Tähdet ja Avaruus -lehden artikkelisarjasta. 136 isoa sivua, kovat kannet. Ursasta 52 mk (sis. postikulut).

Tähtitieteen harrastajan käsikirja 2, toim. K. Kaila ja H. Määttänen. Suosittu käsikirja jatkuu. Tässä osassa tarkkoja havainto-ohjeita mm. auringon, planeettojen ja muuttuvien tähtien tarkkailemiseksi. 188 sivua, hinta Ursasta 34 mk (sis. postikulut).

Tähtitieteellisiä värilulistelta. Näyttäviä tähtimaisemia seinillesi! Maa, Saturnus, Halley'n komeetta, Andromedan galaksi, Trifid-sumu, Hevosenspääsumu. Kunkin julisteen hinta 20 mk + lähetyskulut. Postitetaan pahvirullassa. Vain suoraan Ursasta.

Diasarja Aktiivinen Aurinko. 22 loistavaa värikuvaa ja 1 mustavalkokuva, aiheena mm. Auringon korona, purkaukset, pilkut. Useita avaruudesta otettuja kuvia. Seikkaperäiset kuvatekstit. Hinta postikuluineen 110 mk. Vain suoraan Ursasta.

Painovoima 700, Hal Clement. Ursan sf-sarja 4. Outo planeetta, oudot asukkaat – tehtävänä pelastaa murskaavasta painovoimasta mittamattoman arvokas tutkimusraketti. Taskukirja 216 s. Ursasta 34 mk (sis. postikulut).

Tähdet 1984, toim. S. Linnaluoto. Pätevä tähtitaivaan tietopaketti ja opaskirja koko vuodelle. Ursan vuosikirja ilmestyy jo 8. kerran. Ilmestymisaika: joulukuu 1983. **Seuraavissa vuosikirjoissa TÄHDET 1985 ja 1986 on tarkkoja ohjeita ja karttoja myös Halley'n komeetan havaitsemiseksi.**

Tähtitieteen perusteet, toim. H. Karttunen, P. Kröger, H. Oja ja M. Poutanen. Uusi suomalainen tähtitieteen suurteos. Yliopistollinen kurssikirja, joka havainnollisten kuvien ja sujuvan tekstinsä takia on antoisaa myös kaikille tähtiharrastajille. Noin 600 sivua, kovat kannet, värikuvallite. Ilmestymisaika: kevät 1984.

URSAN JULKAISUJA

Ursasta on saatavana seuraavia julkaisuja. Voit tehdä tilauksen kirjeitse (Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Laivanvarustajank. 3, 00140 Helsinki 14) tai puhelimitse (90-174 048). Postimaksu sisältyy kaikkiin hintoihin. Kirjakauppahinnat ovat hieman korkeammat.

PLANEETAT. 52 mk. Ajankohtainen yleiskuva aurinkokunnastamme. Välttämättömyyttä taustatietoa komeettojenkin ystäville. Runsas kuvitus avaruusluotainten ottamia kuvia. 256 s.

TÄHTITIEEN HARRASTAJAN KÄSIKIRJA 2. 34 mk. Mm. auringon, planeettojen ja muuttuvien tähtien havaitseminen. 188 s.

INFERNO. 34 mk. Ursan sf-sarja 3, Linnunradan keskusta räjähtää, miten käy maapallon? 168 s.

TEEMME AURINKOKELLON. 21 mk. Ohjeet monenlaisista aurinkokelloista ja niiden rakentamisesta. 60 s.

TÄHTITIEEN HARRASTAJAN KÄSIKIRJA 1. 24 mk. Havainto-ohjeita tähtitaivaan kohteiden tarkkailemiseksi. 96 s.

TAU NOLLA. 34 mk. Ursan sf-sarja 2, huima matka kohti maailmankaikkeuden ääriä ja ajan loppua. 192 s.

MAAILMANKAIKKEUTTA TUTKIMASSA. 59 mk. Yleistajuinen katsaus koko tähtitaivaan tutkimuskenttään. 352 s.

ALKEISHIUKKASTEN MAAILMA. 36 mk. Kvarkeista aikojen alkuun. Tehty yhteistyössä Fyysikkoseuran kanssa, 224 s.

PANOKSENA TULEVAISUUS. 34 mk. Ursan sf-sarja 1, vaakalaudalla koko aurinkokunnan tulevaisuus. 168 s.

UFOJEN ARVOITUS. 50 mk. Kahden tähtitieteilijän perusteellinen yleiskatsaus ufoihin. 352 s.

AURINGOSTA ÄÄRETTÖMYYTEEN. 34 mk. 12 artikkelia tämän päivän tähtitieteestä. 208 s.

TÄHTITAIVAAN OPAS. 44 mk. Tarkka esittely taivaan tähdistöistä ja kiintoisimmista kohteista, kovakantinen. 200 s.

1982 KUN PLANEETAT KOHTAAVAT, 34 mk. Planeettojen kohtaamiset, astrologian historia ja merkitys. 160 s.

TULIPALLOJA TAIVAALLA. 34 mk. Meteoriitit, tulipallot, kraatterit, Tunguskan räjähdys 1908. 208 s.

TÄHTIEN JA GALAKSIEN MAAILMA. 34 mk. Asiantuntijoiden ja harrastajien artikkeleita eri aiheista. 252 s.

MUSTAA AUKKOA ETSIMÄSSÄ. 34 mk. Yleinen suhteellisuusteoria, gravitaatioaalto, mustat aukot. 143 s.

MESSIERIN LUETTELO. 12 mk. Etsimiskartat taivaan tunnetuimmille tähtisumuille ja -joukoille. 48 s.

TEEMME PEILIKAUKOPUTKEN. 15 mk. Ohjeita kaukoputken optisten osien tekemisestä. 72 s.

POSTIKORTTISARJA. 10 mk. 16 suomalaisten harrastajien mustavalkoista tähtikuvaa.

DIASARJA SATURNUS. 70 mk. 12 Voyager-aluksen kuvaa Saturnuksesta, sen renkaista ja kuista. 16-sivuinen seloste.

DIASARJA TÄHDET JA TÄHTISUMUT. 120 mk. 20 kuvaa tähdistä, tähtisumuista, -joukoista, galakseista. 16-sivuinen seloste.

DIASARJA AURINKOKUNTA. 150 mk. 25 komeaa värikuvaa planeetoista, kuisista, komeetasta. Mukana tarkat kuvatestit.

Pyrstötähdet eli komeetat ovat tähtitaivaan loistavimpia ilmestystyksiä. Niillä voi olla yli koko taivaankannen ulottuva häntä, ja kirkkaimmat komeetat näkyvät jopa keskellä päivää.

Komeetat ovat tulossa ajankohtaiseksi uutisaiheeksi. Kuuluisa Halleyn pyrstötähti, joka viimeksi nähtiin 1910, on jälleen lähestymässä Aurinkoa. Se näkyy taivaalla vuoden 1986 alussa, ja sitä aiotaan ympäri maapalloa tutkia tarkemmin kuin ainoatakaan komeettaa aikaisemmin.

Kirjassamme kerrotaan niin Halleyn pyrstötähdestä kuin muistakin komeetoista. Mistä ne tulevat? Minne ne menevät? Millaisia taivaankappaleita ne ovat? Voivatko ne vaikuttaa maapallon elämään?

Kansien valokuvat
Hale Observatories
Typografia Irmeli Ilmanen