



Aurinko ja avaruusmyrskyt

Hannu Koskinen

Aurinko on säteilyllä lähestulkoon nykyisellä tehollaan viimeiset 4,5 miljardia vuotta. Tänä aikana se on mm. tarjonnut riittävän tasaiset olosuhteet elämän kehittymiselle maapallolla. Tarkasteltaessa Aurinkoa nykyaikaisin instrumentein käy kuitenkin ilmi, että tämän tasaisen säteilyn lisäksi Auringon olosuhteissa tapahtuu runsaasti muutoksia muutaman minuutin jaksolisista pinnan värähtelyistä ja tuntien mittaisista epäsäännöllisistä hiukkaspurkauksista aina vuosikymmeniä ja tai vuosisatoja kestäviin enemmän tai vähemmän säännöllisiin muutosjaksoihin.

Vaikka tällainen Auringon aktiivisuudeksi kutsuttu muuttuvaisuus edustaakin vain häviävän pientä osaa Auringon koko energiataloudesta, se aiheuttaa havaittavia muutoksia maapallon lähiavaruudessa. Tätä ilmiömaailmaa on alettu kutsua avaruussääksi ja avaruussään voimakkaimpia häiriöitä avaruusmyrskyiksi. Avaruusmyrskyt häiritsevät sekä avaruudessa että maanpinnalla olevia teknologisia järjestelmiä ja voivat olla kohtalokkaita avaruuslentäjien terveydelle.

Tapahtui tammikuussa 1997

Avaruussää sai maailmanlaajuisia huomiota tammikuussa 1997. Tuolloin runsas vuosi aiemmin Aurinkoa tutkimaan lähetetyllä Euroopan avaruusjärjestön ESA:n ja Yhdysvaltain avaruushallinnon NASA:n yhteisellä SOHO-avaruusaluksella tutkimustyötä tekevät tutkijat olivat koolla NASA:n Goddard Space Flight Centerissä Marylandissa ja katselivat aluksen samanaikaisesti Auringosta tekemiä havaintoja. Myöhään tammikuun 6. päivänä tutkijat havaitsivat, että Auringossa tapahtui jättiläismäinen hiukkaspurkaus, joka ilmeisesti oli matkalla kohti Maata. Tutkijat ilmoittivat havainnostaan avaruussäähavaintoja tekeville viranomaisille, mutta koska purkaukseen ei liittynyt tiettyjä avaruusmyrskyjä enteileviä tunnusmerkkejä, virallisia avaruusmyrskyvaroituksia ei annettu.

Runsas kolme vuorokautta myöhemmin maapallon lähellä olevat avaruusalukset havaitsivat purkauksen saapuvan kohti Maata ja käynnistyi niinkutsuttu magneettinen myrsky. Mitään varsinaista draamatiikkaa tähän ei liittynyt, sillä vaikka olikin menossa Auringon aktiivisuuden hiljaisiin vaihe, tämän suuria myrskyjä odotettiin tapahtuvan puolisen tusinaa vuodessa. Draamatiikka tuli kuvaan, kun amerikkalainen tietoliikennejätti AT&T menetti satelliittinsa Telstar 401:n seuraavana päivänä 11. tammikuuta 1997. Satelliitin elektroniikan kohtalokkaan vaurioitumisen syynä pidettiin yleisesti myrskyn erittäin suuriin energioihin kiihdyttämiä elektroneja.

Avaruusmyrskyjen lähde: Aurinko

Aurinko on suuri kuuma kaasupallo. Sen massa on noin 330 000 kertaa maapallon massa ja sen halkaisija runsaat 100 kertaa maapallon halkaisija. Aurinko ja koko aurinkokunta syntyivät tähtienvälisen kaasupilven romahdettua painovoimansa vaikutuksesta noin 4,6 miljardia vuotta sitten. Suhteellisen nopean varhaisen kehityksen jälkeen Aurinko on näyttänyt ulospäin jokseenkin samalta kuin tänäkin päivänä ja näin tulee ilmeisesti jatkumaan yhä miljardeja vuosia.

Auringon valtava massa pitää Maan ja muut planeetat kiertoradoillaan ja tarjoaa runsaasti polttoainetta Auringon säteilyn tarvitsemaan energiantuottoon. Auringon energiantuotto oli pitkään arvoitus, joka kyettiin selittämään vasta 1930-luvulla, kun fysiikassa oli opittu riittävästi ydinvoimista. Aurinko tuottaa keskiosassaan energiaa teholla, joka saataisiin kokoon rakentamalla 100 miljoonaa tavanomaista ydinvoimalaa jokaista maapallon asukasta kohti. Energiantuotto perustuu ydinreaktioon, joissa kevyet alkuaineiden ytimet yhdistyvät raskaammiksi ja vapauttavat samalla energiaa. Itseasiassa jokainen sekunti noin 4 miljoonaa tonnia materiaa muuttuu energiaksi Einsteinin tutun



kaavan $E = mc^2$ mukaisesti. Fuusioreaktion mahdollistaa Auringon ytimen suuri lämpötila (15 miljoonaa astetta) ja tiheys (150 tonnia kuutiometrillä).

Syntynyt energia alkaa siirtyä säteilyä kohti Auringon pintaa. Koska Auringon sisäosissa kaasu on hyvin tiheää, säteily törmäilee koko ajan kaasuatomeihin ja etenee hyvin hitaasti ulospäin viiletten samalla. Kuljettuaan noin kolme neljäsosaa matkasta kohti pintaa säteily tulee alueeseen, joka on säteilyn kannalta läpinäkymätöntä. Energian on kuitenkin päästävä ulospäin ja syntyy tilanne, jossa säteily lämmittää viimeisen neljänneksen matkalla olevaa kaasua sisältäpäin. Näin lämminnyt kaasu nousee Auringon pintakerrokseen jäähtyen ja jäähtynyt kaasu puolestaan vajoaa takaisin alaspäin. Tällaista energian siirtymistä kutsutaan konvektiiviseksi. Konvektiivinen kerros on siis hieman kuin kiehuva kattila, jossa pohjan lämpö siirtyy veden liikkeen mukana pinnalle ja haihtuu lämpönä ilmaan. Kiehumiseen liittyvän kuplimisen jäljet ovatkin nähtävissä aivan Auringon pinnan yläpuolelta tehdyissä tarkoituksissa mittauksissa.

Auringon pinta, josta kaikki näkyvä valo tulee, on puolestaan hyvin ohut, vain noin 500 km. Pinta imee kaiken sisäpuolelta tulevan energian ja lähettää sen avaruuteen suurimmaksi osaksi lämpösäteilyä, joka vastaa 5777 kelvin-asteen lämpötilaa. Tämä on kaikki mitä ytimen 15 miljoonan asteen lämpötilasta on jäljellä.


Ulospäin mentäessä Auringon "ilmakehä" ensin jäähtyy vielä noin 4300 asteeseen, mutta alkaa harvetessaan jälleen kuumeta alueessa, jota kutsutaan kromosfääriksi. Noin 20 000 km korkeudessa lämpötila pomppaa hyvin ohuessa kerroksessa aina miljoonaa asteeseen ja ollaan siirrytty Auringon koronaan. Nimityksensä alue on saanut siitä, että se on se kruunu, joka näkyy Auringon ympärillä täydellisen auringonpimennyksen aikana. Hieman ulompana koronan lämpötila kasvaa noin 2 miljoonaa asteeseen ja alkaa sen jälkeen jälleen jäähtyä.

Auringon korona leviää koko aurinkokuntaan ohuena hiukkasvirtauksena, aurinkotuulena. Aurinkotuuli koostuu sähköisesti varatuista hiukkasista, elektroneista, protoneista ja helium-atomin ytimistä sekä vähäisessä määrin raskaampien alkuaineiden ytimistä. Tällaista kaasua kutsutaan plasmaksi. Tämä hiukkasvirtaus on kuitenkin kaikkea muuta kuin tasaista. Sen nopeus Maan etäisyydellä Auringosta vaihtelee 200 ja 900 km/s välillä. Kaasun tiheys on enää muutamia hiukkasia kuutiokeskimetrillä ja lämpötila 100 000 asteen luokkaa, mutta nämäkin suureet vaihtelevat suuresti. Aurinkotuuli kuljettaa mukanaan Auringosta peräisin oleva magneettikenttä ja myös sen suunta ja suuruus vaihtelevat suuresti. Juuri nämä muutokset ovat syynä avaruusmyrskyihin.

Auringon aktiivisuus

Aurinkoa pidettiin pitkään jumalallisen täydellisenä ja muuttumattomana kappaleena. Niinpä esimerkiksi Galileo Galilei joutui vaikeuksiin, kun hän kertoi havainneensa vuosina 1610-1613 Auringon pinnalla tummia pilkkuja. Löytö oli kuitenkin yksi tieteen historian tärkeimpiä, sillä pilkkujen ilmeneminen kertoo Auringon aktiivisuudesta ja sen muutoksista. Pian Galilein jälkeen oli pitkä jakso, jolloin auringonpilkkuja oli erittäin vähän, mutta niiden esiintyminen lisääntyi jälleen 1800-luvulla. Richard Carrington onnistui vuonna 1858 osoittamaan, että pilkut ilmenevät keskimäärin 11 vuoden jaksoissa. Pilkkuja alkaa ilmestyä uuden jakson alkaessa Auringon keskilatituteille, josta ne liikkuvat hitaasti kohti päiväntasaajaa tai oikeammin ekvaattoria. Pilkkujen määrä kasvaa noin neljässä vuodessa maksimiinsa ja pilkut melkein häviävät 11 vuoden jakson lopulla, jolloin uuden jakso pilkut alkavat ilmestyä. Yksittäiset pilkut elävät muutamista vuorokausista muutamiin viikkoihin, joten aktiivisuuden kasvaessa pilkkuja syntyy nopeammin kuin vanhoja katoaa.


Vuonna 1908 George Hale teki mittauksia, jotka osoittivat, että auringonpilkkuihin liittyy huomattava magneettikenttä. Auringolla on siis oma magneettikenttä. Koska kenttä on vahvasti keskittynyt auringonpilkkuihin se on hyvin hienorakenteinen ja ajallisesti muuttuva. Itse asiassa Auringon keskimääräinen kenttään vaihtaa suuntaansa pilkkujaksosta toiseen eli magneettiset pohjois- ja etelänavat vaihtavat paikkaansa 11 vuoden välein. Magneettikenttä selittää myös pilkkujen




tummuuden. Kenttä estää kuumen kaasun nousemisen Auringon pinnalle ja pilkku jää ympäristöään kylmemmäksi ja siten tummemmaksi. Maanpinnalla tarkkoja magneettikentän mittauksia on tehty 1840-luvulta alkaen. Maan magneettikentässä esiintyy lyhytkestoisia häiriöitä enemmän Auringon ollessa aktiivisimmillaan. Silloin kun häiriöt ylittävät tietyn rajan, puhutaan magneettisista myrskyistä.




Magneettiset myrskyt




Auringonpilkut eivät aiheuta suoraan magneettisia myrskyjä vaan niiden syynä ovat erilaiset häiriöt maapallon magneettikentän kanssa vuorokauden aurinkotulessa. Nämä häiriöt ovat puolestaan usein peräisin Auringon pinnalla tapahtuvista häiriöistä, Auringon myrskyistä. Auringon pinnalla tapahtuu kaiken aikaa suurempia tai pienempiä purkauksia ja räjähdyksiä. Aika ajoin pinnalta irtoaa jättäjäismäisiä koronan massapurkauksiksi kutsuttuja plasmapiilviä. Näihin purkauksiin liittyy myös sähköisesti varattujen hiukkasten kiihdytystä hyvin korkeisiin energioihin. Korkeaenergisiksi protoneja ja heliumatomin ytimiä kutsutaan kosmisiksi säteiksi. Ne saavuttavat Maan muutamasta kymmenestä minuutista muutamaan tuntiin purkauksen jälkeen ja syöksyvät syvälle maapallon magneettikentän hallitsemaan magnetosfääriksi kutsuttuun alueeseen ja aina ylemmän ilmakehään asti.




Varsinainen koronan massapurkaus puolestaan saavuttaa noin 65 000 km korkeudella olevan magnetosfääriin ulkoreunan 2-4 vuorokaudessa. Massapurkauksen hiukkasten energiat ovat sen verran pieniä, että ne eivät pääse ilman muuta tunkeutumaan magnetosfääriin sisään. Maan magneettikenttä siis suojelee maapalloa tällaisilta plasmapiilviltä kuten aurinkotuulelta yleensäkin. Massapurkauksen kokonaisenergia on kuitenkin niin suuri, että se ensinnäkin puristaa magnetosfääriä kokoon ja toisaalta osa sen energiasta ja plasmasta pääsee lopulta tunkeutumaan magnetosfääriin. Tällainen energiansyöttö näkyy maanpinnalla esimerkiksi revontulivyöhykkeen laajenemisena pohjoisella pallonpuoliskolla kohti etelää. Ilmiö näkyy erityisen hyvin avaruudesta revontulivyöhykettä kuvaavien satelliittien ottamista kuvista.




Seuraavaksi magnetosfääriin tunkeutuva energia alkaa kiihdyttää ja kuumentaa siellä jo olevia elektroneja ja protoneja. Osa hiukkasista kertyy maapalloa kiertäviin säteilyvöihin ja kasvattaa päiväntasaajan tasossa maapalloa kiertävää sähkövirtaa, mikä voidaan havaita maanpinnalla tehtävillä magneettisilla mittauksilla. Osa hiukkasista puolestaan syöksyy revontulivyöhykkeille törmäten ilmakehään noin 100 km korkeudella aiheuttaen kirkkaita revontulia. Myös tuossa alueessa kulkee voimakkaita sähkövirtoja, jotka suuren myrskyn aikana saattavat poikkeuttaa esimerkiksi kompassia useita asteita.




Avaruussää ja sen vaikutukset



Kun kerran puhumme avaruudessa riehuvista myrskyistä, niin miksi emme kutsuisi ilmiömaailmaa avaruussääksi. Viime vuosikymmenellä alkoi maailmanlaajuinen prosessi, jonka tavoitteena on tehostaa avaruussään havaintoja, tietokonemallinnusta, ennusteiden tekemistä ja huomioimista teknologisia järjestelmiä suunniteltaessa. Ensiksi on tarpeen tietenkin ymmärtää, millaisia vaikutuksia avaruussäällä voi olla.



Sekä Auringosta lähtevät kosmiset säteet että myrskyjen aikana magnetosfääriin syntyvät korkeaenergisiksi hiukkaset saattavat häiritä tai vahingoittaa avaruusalusten elektroniikkaa. Alussa mainitun Telstar 401:n menetyksen uskotaan johtuneen juuri käynnissä olleen myrskyn tuottamien korkeaenergisien "tappajaelektronien" kertymisestä satelliitin herkkiin komponentteihin. Vastaavia esimerkkejä on useita.



Korkeaenergisiksi hiukkaset kykenevät myös tunkeutumaan avaruuslentäjän suojapuvun ja ihon läpi aiheuttaen kudonvaurioita ja lisäksi syöpärisiä. Miehitetyistä avaruuslennoista onkin tulossa yhä kasvava avaruussääntiedon tarvisijoiden yhteisö kansainvälisen avaruusaseman rakentamisen myötä. Koska Auringon syöksemät korkeaenergisiksi protonit saattavat saavuttaa Maan lähietäisyyden vain vajaassa tunnissa, ei astronautilla

ole liiemmäli aikaa hakeutua avaruusaluksensa seinien suojaan, mikäli Auringossa tapahtuu merkittävä hiukkauspurkaus hänen työskennellessään aluksensa ulkopuolella. Valitettavasti emme vielä osaa kovinkaan luotettavasti ennustaa, milloin Auringon pinnalla sattuu tällainen purkaus.

Useimmille suomalaisille avaruussää on jollain lailla tuttu ilmiö revontulien ansiosta. Kuten edellä mainittiin, revontuliin liittyy voimakkaita ja nopeasti muuttuvia sähkövirtoja. Ne indusoivat sähkökentän maanpinnalle ja mikäli vahvistuneen sähkökentän lähistöllä on pitkiä sähköä johtavia laitteita kuten voimansiirto- tai puhelinkaapeleita tai öljy- tai kaasuputkia, näissä alkaa kulkea sähkövirtoja. Vaikka virrat eivät ole kovin voimakkaita, ne ovat kuitenkin järjestelmän kannalta häiriövirtoja ja saattavat pahimmillaan vaurioittaa sähkövirtajärjestelmän muuntajia. Näin tapahtui vuonna 1989 Quebecissä Kanadassa, jossa lähes koko osavaltio oli ilman sähköä avaruussäähäiriön seurauksena. Kaasu- tai öljyputkissa virta kulkee puolestaan putkesta maahan ja aiheuttaa kasvavaa korroosiota. Muita avaruussäälle alttiita järjestelmiä ovat radioliikenne sekä maanpinnalla että Maasta avaruusaluksiin ja satelliittipaikannusjärjestelmät. Ja tokihan tietoliikennesatelliittien toimintahäiriötkin voivat aiheuttaa ongelmia ihmisten toiminnalle maanpinnalla.

Voiko avaruussään häiriöiltä sitten suojautua? Yksi tärkeä menetelmä on tietenkin rakentaa mahdollisimman hyvin avaruussäätä kestäviä laitteita. Tämä ei kuitenkaan liene koskaan sataprosenttisen mahdollista ja tulisi joka tapauksessa liian kalliiksi. Toisaalta avaruusaseman ulkopuolella työskentelevää astronauttia ei voida mitenkään suojata täydellisesti. Toinen mahdollisuus on yrittää ennustaa avaruusmyrskyjä mahdollisimman luotettavasti. Mikäli ennusteet ovat riittävän hyviä, voidaan niiden avulla välttää esimerkiksi tekemästä avaruusaluksille erilaisia asennonsäätö- tai testioperaatioita huonon avaruussään aikana ja pitää huoli, että astronautit ovat tällöin alustensa suojassa. Samoin luotettava tieto toimintahäiriön aikana auttaa teknisten laitteiden toiminnasta vastaavia reagoimaan mahdollisiin pienempiin ongelmiin oikealla tavalla.

Sekä paremmin avaruussäätä kestävien systeemien rakentaminen että ennakko- ja ennusteet edellyttävät huomattavaa panostusta avaruussään havaintoihin, perustutkimukseen sekä mallinnus- ja ennustusmenetelmien kehittämiseen. Ilman kattavaa havaintoverkkoa ei minkäänlainen sääpalvelu ole mahdollinen. Toisaalta käsiteltävä alue on erittäin suuri ja fyysikaalisesti hankala. Magneettikentän ja sähköisesti varattujen hiukkasten mukanaolo tekee avaruussään fyysikasta vieläkin hankalampaa kuin tavallisen sään fyysikka. Juuri näiden ongelmien vuoksi maailmalla onkin käynnissä useita aloitteita kehittää uusia havainto- ja tutkimusyhteistyörakenteita luotettavan avaruussääpalvelun luomiseksi.

Avaruussää ja avaruusmyrskyt antavat samanaikaisesti näköaloja niin avaruuden vaarallisuuteen ympäristönä, jolta ihmisen on suojauduttava, kuin luonnon loputtomaan kauneuteen kirkkaiden revontulien tai huikeita auringonpurkauksia esittävien satelliittikuvien muodossa. Samanaikaisesti avaruussään tutkimus antaa jälleen uuden esimerkin siitä, kuinka rationaalinen luonnontutkimus tekee mahdolliseksi ymmärtää ja tulevaisuudessa jopa luotettavasti ennustaa monimutkaisia luonnonilmiöitä ja niiden seurauksia.

Kirjoittaja toimii professorina Helsingin yliopiston teoreettisen fysiikan osastolla sekä Ilmatieteen laitoksella. Artikkelin perustuu esitelmään Tieteen päivillä 10.1.2001.