



Neutrinica Oy
Juha Peltoniemi
26.03.2008

Neutriinot paljastavat maapallon salat

Tiedämme ällistyttävän vähän maapallon sisäosien olosuhteista. Auringonkin sisus on mallinnettu paljon paremmin kuin maapallon. Syvin maan kuoreen porattu reikä menee reilun kymmenen kilometrin syvyyteen, mikä on alle kaksi promillea maapallon säteestä. Syvempien osien olosuhteista on saatu tietoja vain epäsuorasti maan pinnalta tehtyjen havaintojen avulla. Nyt pienenpienet alkeishiukkaset, neutriinot, avaavat aivan uuden ikkunan maapallon sisäosien tutkimukseen.

Maan sisästä pursuaa pinnalle lämpöä. Siksi kallion lämpötila nousee alaspäin mentäessä, Suomessa yksi aste sataa metriä kohden, muualla yleensä paljon nopeammin. Kymmenien kilometrien syvyydessä kiviaines on jo osittain sulaa. Koko maapallon lämmöntuotanto on 40 TW, mikä vastaa kymmenien tuhansien ydinvoimaloiden tehoa. Lämmönlähde on vielä osittain arvoitus, mutta ilmeisesti suurin osa lämmöstä on peräisin kiven radioaktiivisuudesta, ainakaan mitään muuta hyvää selitystä ei ole esitetty.

Syvällä lämpö sulattaa kiven ja aiheuttaa siihen hitaita pystyvirtauksia. Maapallon pyöriminen vaikuttaa virtausten suuntaan, ja seurauksena on hyvin monimutkainen virtausten verkosto. Nämä virtaukset synnyttävät maan magneettikentän ja muovaavat maan pintaa. Ne liikuttavat maan kuorta, muodostaen mantereita, valtameriä, vuoristoja ja syvänteitä. Tulivuoret, maanjäristykset ja tsunamit johtuvat juuri mannerlaattojen liikkeestä. Laattojen liike ja rypistyminen on kuitenkin välttämätön meidän olemassaololle, sillä muuten maan pinta olisi tasainen ja kauttaaltaan veden peitossa.

Suoraa tietoa maan syvyyksistä on hyvin vähän. Syvin maan sisään porattu reikä on Kuolan niemimaalla, ja se ulottuu 12,262 kilometrin syvyyteen. Saksaan on porattu reikä 9,101 kilometrin syvyyteen. Molemmat reiät paljastivat yllätyksiä, jotka vaativat lisätutkimuksia. Suomen syvin reikä Outokummussa ulottuu vain kahden ja puolen kilometrin syvyyteen.

Tulivuoritoiminnasta ja laavan koostumuksesta voidaan tehdä joitain johtopäätöksiä maankuoren alla olevan sulan kiven ominaisuuksista. Parhaimmillaan saadaan luonnon tarjoamia näytteitä jopa sadan kilometrin syvyydeltä.

Maan fysikaalisia ominaisuuksia, kuten tiheyttä ja olomuotoja, tutkitaan seismologisilla tutkimuksilla. Maanjäristysten aiheuttamien paineaaltojen eteneminen, ennen kaikkea niiden nopeus ja heijastuminen kertoo kiven kimmoisuudesta ja tiheydestä ja näiden muutoksista. Olomuodosta voidaan tehdä johtopäätöksiä erilaisten aaltojen suhteesta: kiinteässä aineessa voi edetä sekä pitkittäisiä että poikittaisia aaltoja, mutta sulassa aineessa vain pitkittäisiä. Maan pyöriminen antaa myös reunaehdoja maan massalle ja sen jakaumalle. Seismologiset mittaukset eivät kuitenkaan ole täysin yhteensopivia näiden reunaehtojen kanssa, vaan niiden välillä on pieni ristiriita.

Mistä maan energia tulee?

Maan sisäinen energia on tärkeä maan historialle ja myös tulevaisuudelle. Kuten todettiin, se ilmeisesti aiheuttaa maan magneettikentän. Maan magneettikenttä ei kuitenkaan ole vakio:

sen suunta ja suuruus on vaihdellut läpi maapallon historian. On viitteitä, että magneettikenttä olisi heikkenemässä, ja ehkä vaihtaisi suuntaa. Tällä voi olla muitakin seurauksia kuin kompassien sekoaminen: maan magnettikenttä vaikuttaa avaruudesta tulevien sähköisesti varattujen hiukkasten liikkeeseen ja ohjaa ne sivuun, minkä vaikutukset nähdään pohjoisessa revontulina. Magneettikentän syntymiselle ei kuitenkaan ole mitään ristiinriidatonta mallia, jonka pohjalta sen käyttäytyminen voitaisiin ennustaa riittävän tarkasti.

Energiantuottoon vaikuttavan radioaktiivisuuden määrä maan sisällä voidaan arvioida edellä mainittujen geologisten havaintojen pohjalta. Saatu arvio vastaa kuitenkin vain puolta mitatusta maan sisäosien energiantuotosta. Tutkijoilla on vielä paljon tekemistä maan ymmärtämiseksi.

Ongelmana on myös lämmöntuotannon jakautuminen maan sisällä. Mahdollisesti suuri osa radioaktiivisuudesta tulee jo kuoriosasta, mutta on myös arveltu, että ytimen ja vaipan rajakerroksiin onkin rikastunut suuri määrä uraania. Aiemmin jotkut tutkijat jopa leikittelivät ajatuksella, että maan sydämeen olisi syntynyt luonnollinen ydinvoimala. Tätä vaihtoehtoa ei vielä kukaan voi sulkea pois, vaikka monet tiedemiehet kutsuvat tällaisia malleja kerettiläisiksi.

Mitataanpas maan säteilyä

Ratkaisun löytämiseksi pitäisi mitata maapallon syvien osien radioaktiivisuus. Se on kuitenkin helpommin sanottu kuin tehty: syvän maaperän säteilyä ei voida mitata tavanomaisin mittarein. Sekä alfa-, beeta- että gammasäteet pysähtyvät kiveen, eikä edes radon tiheä kovin kaukaa. Radioaktiivisissa hajoamisissa syntyy kuitenkin myös aivan toisenlaista säteilyä, neutriinoja, jotka tunkeutuvat kaiken aineen läpi aina maan pinnalle asti.

Maaperän neutriinoiden havaitseminen toisi konkreettista tietoa maan radioaktiivisuuden määrästä ja jakautumisesta. Se on kuitenkin äärimmäisen haastavaa, koska neutriinot vuorovaikuttavat niin heikosti, että ne eivät yleensä jätä minkäänlaisia jälkiä ilmaisimiin. Sitä varten tarvitaan hyvin suurta ja herkkää ilmaisinalaitteistoa, joka tulee sijoittaa syvälle maan alle suojaan kaikelta muulta taustasäteilyltä.

Ensimmäiseksi mahdollisia maan neutriinoiden signaaleja on nähty japanilaisessa KamLand-kokeessa. Kokeen varsinaisena tarkoituksena on mitata ydinvoimaloista tulevaa neutriinosäteilyä. Koelaitteistossa on tuhat tonniaa erikoisöljyä, tuikenestettä, johon osuva hiukkanen voi aiheuttaa siinä pienen valonvälähdyksen. Havaintojen perusteella ei kuitenkaan voida tehdä suuria johtopäätöksiä: laitteisto on liian pieni, ja lähistöllä olevat ydinvoimalat tuottavat liikaa häiriötä. Tarvitaan siis parempia kokeita.

Uusilla ideoilla neutriinoita etsimään

Maailman neutriinotutkijat ovat esitelleet uusia ehdotuksia maan neutriinoiden tutkimiseksi. Yleensä koelaitteistot pohjautuvat samanlaiseen teknologiaan kuin KamLand, mutta ovat suurempia ja hienompia. Ehdotuksista mielenkiintoisimpia ovat eurooppalaisen tutkimusryhmän kehittänyt LENA ja amerikkalaisten HANOHANO. Kunnianhimoisempi tavoite on hollantilaisvetoisen ryhmän EARTH-kokeella: se pyrkii myös määrittämään neutriinoiden tulosuunnan, mihin muut kokeet eivät pysty.

Maaneutriinoiden havaitseminen vaatii erittäin suojaisen mittaustilan kaukana häiriölähteistä. Pahiten mittauksia häiritsevät ydinvoimalat, jotka myös tuottavat neutriinosäteilyä. Itse asiassa reaktorien neutriinosäteily aiheuttaa mittalaitteissa täsmälleen samanlaisen signaalin kuin maasta tulevat neutriinot, vain hieman erilaisella energiajakaumalla. Siksi liian suuri ydinvoimalasäteily estää maan neutriinoiden havaitsemisen, ja maan neutriinoja etsivät kokeet on vietävä kauaksi ydinvoimaloista.

Euroopan tiedepiirit ovat pitkään etsineet sopivaa paikkaa maaneutriinoiden tutkimiseen. Suurin osa Eurooppaa on kelpotonta tähän tarkoitukseen, koska erityisesti Keski-Euroopassa on ydinvoimaloita lähes joka notkelmassa. Ydinvoimalasäteily on riittävän pieni vain itäisen Välimeren alueella ja pohjoisimmassa Euroopassa, ja näistä Välimeren alueen

mahdollisuudet ovat ehkä tuhoutumassa uusien ydinvoimalahankkeiden ja muun epävarmuuden vuoksi. Tutkijoiden katseet kääntyvätkin pohjoiseen.

Jättilaitteisto Suomeen?

Pohjois-Suomi on osoittautunut kaikkein lupaavimmaksi paikaksi maaneutriinon tutkimisen. Siellä ei ole ydinvoimaloita lainkaan, ja se on riittävän kaukana kauempana olevista ydinvoimaloista. Suomen merkittävänä etuna on myös maailman paras peruskallio. Kokeet vaativat erittäin suuren, jopa sata metriä pitkän ja kolmekymmentä metriä leveän maanalaisen tilan, jonka tulisi kestää vuosikymmeniä. Se on suhteellisen helposti rakennettavissa kovaan ja vanhaan suomalaiseen kallioperään. Suurin osa Eurooppaa sen sijaan on joko pehmeää sedimenttikiveä tai maan aikaskaalassa vastamuodostunutta vuoristoa, jonne suuren tilan louhiminen on hyvin vaikeaa ja kallista, jopa vaarallista.

Suomessa on lukuisia mahdollisia paikkoja suuren maanalaisen laboratorion sijoituspaikaksi. Nopeinta ja edullisinta olisi käyttää valmiiksi olemassaolevaa yhteyttä maan alle, kuten kaivosta. Tässä mielessä mielenkiintoisin kohde on Euroopan syvin metallikaivos Pyhäjärvellä, joka ulottuu aina 1444 metrin syvyyteen. Oulun yliopistoon kuuluvassa Oulun Eteläisen instituutissa onkin pitkään tutkittu kaivoksen mahdollisuuksia, ja paraikaa kaivokseen asennetaan kosmisia säteitä tutkivaa maanalaista EMMA-koetta.

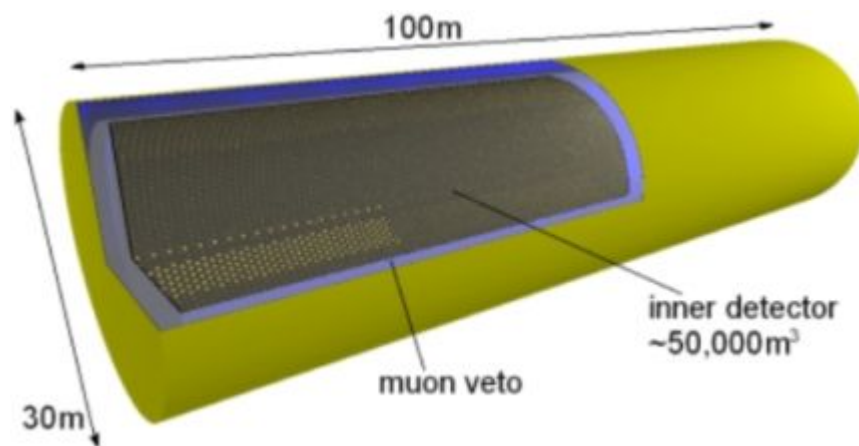
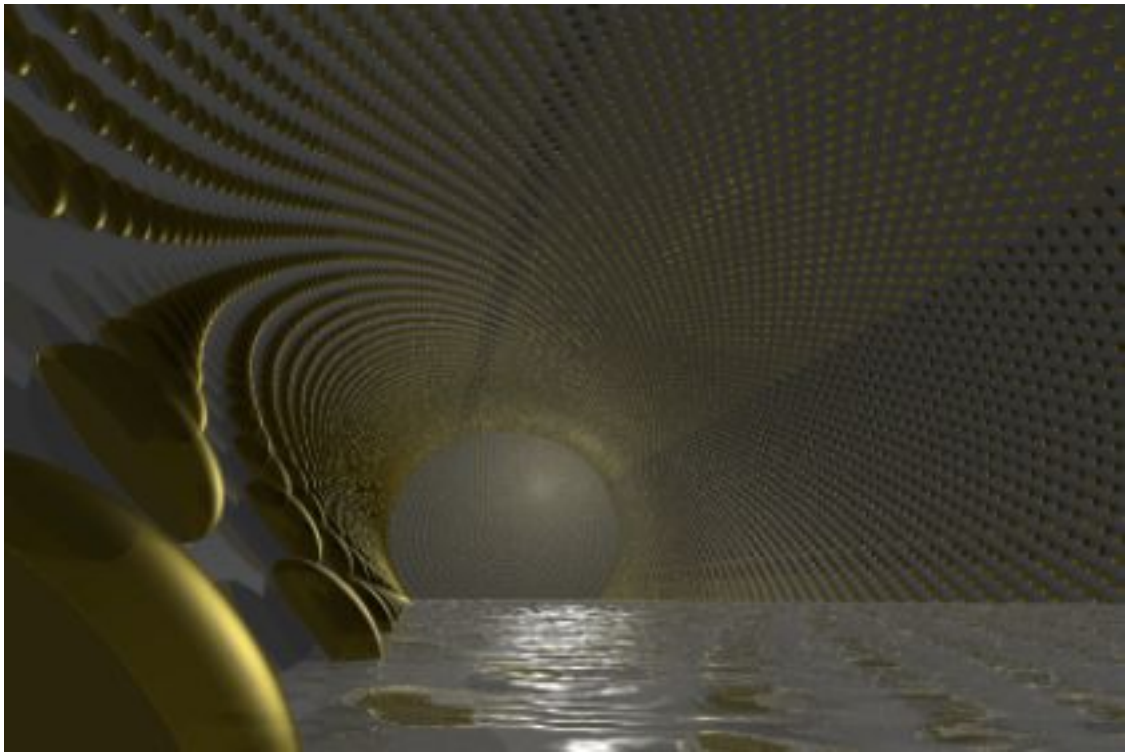
Kilpailu uuden eurooppalaisen maanalaisen laboratorion rakentamisesta on auennut. Alan tärkeimmät eurooppalaiset tutkijat ja tutkimuslaitokset ovat muodostaneet yhteenliittymän, jonka puitteissa tehdään esiselvitystä laboratorion rakentamiseksi ja sijoituspaikan valitsemiseksi. Kansainväliset rahoittajat ovat antaneet määräajaksi vuoden 2010, jonka jälkeen tehdään päätöksiä sen toteuttamisesta ja sijoituspaikasta. Pohjois-Suomen mahdollisuudet ovat poikkeuksellisen hyviä edellämainittujen kruununkalleuksien, kovan peruskallion ja ydinvoimalavapauden vuoksi.

LENA-koe

LENA on kansainvälisen tutkimusryhmän suunnittelema monikäyttöinen neutriinon ilmaisimien. Se on suunniteltu ennen kaikkea maaneutriinon havaitsemiseen, mutta samalla laitteella nähdään myös avaruudesta tulevia neutriinoja. Sillä voidaan mitata esimerkiksi auringosta tulevia neutriinoja, erityisesti matalaenergisiä spektriviivoja, joita ei aiemmin ole mitattu samalla tarkkuudella. Se voi nähdä ennennäkemättä tarkkudella räjähtävän tähden neutriinosäteilyn avulla, vaikka itse tähti jäisi Linnunradan keskustan taakse näkymättömiin.

LENA on tyypiltään tuikenestekoe. Siinä on 50 tuhatta tonnia tuikenestettä, jossa syntyviä valonvälähdyksiä havaitaan lähes sadalla tuhannella valomonistinputkella. Koelaitteisto on lähes sata metriä pitkä ja kolmekymmentä metriä leveä. Kosmisen säteilyn torjumiseksi laitteisto on sijoitettava yli kilometrin syvyyteen. Suomessa tällä laitteella nähtäisiin noin tuhat maan neutriinon aiheuttamaa signaalia vuodessa.

Tutkimusryhmän johtajana toimii professori Franz von Feilitzsch Münchenin teknillisestä yliopistosta.



Neutriinot

Neutriinot ovat näkymättömiä äärimmäisen pieniä alkeishiukkasia. Niitä on avaruudessa tavattomasti ja keveytensä takia ne kiitävät maailmankaikkeuden halki lähes valon nopeudella. Neutriinot vuorovaikuttavat heikosti muun aineen kanssa. Siksi ne pystyvät läpäisemään helposti kiven ja kallion, jopa maan ja auringonkin.

Neutriinoja syntyy koko ajan radioaktiivisten hajoamisten seurauksina niin maassa kuin tähdissäkin. Joka sekunti ihmisen läpi menee noin sata biljoonaa auringosta tulevaa neutriinoa ilman, että ihminen huomaisi yhtään mitään.

Neutriinojen havaitseminen on erittäin vaikeaa. Suurin osa neutriinoista menee mittalaitteiden läpi kuin tyhjää vain, mutta jos niitä menee riittävän monta, niin joku voi aiheuttaa havaittavan reaktion. Neutriinojen tutkiminen vaatii taustasäteilyltä suojatun mittaustilan ja erittäin herkeit ja suuret mittalaitteet, sekä paljon aikaa ja kärsivällisyyttä.

Käytännössä neutriinoja voidaan tutkia vain syvällä maan alla olevissa säteilypuhtaissa laboratorioissa. Sopivia laboratorioita on maailmalla vain kymmenkunta. Euroopassa niitä on viisi, joista suurin on Italiassa Gran Sasso vuoren sisällä.

Vuonna 2002 maanalaisista neutriinokokeista myönnettiin Nobelin palkinnot kahdelle huippufyysikolle, Raymond Davisille ja Masatoshi Koshiballe. Amerikkalaisen Davisin johtama koe Homestaken laboratoriossa havaitsi ensimmäistä kertaa auringosta tulevia neutriinoja. Japanilaisen Koshiban johtama Kamiokande-koe havaitsi sekä kosmisten säteiden ilmakehässä synnyttämiä neutriinoja että räjähtävästä tähdestä eli supernovasta tulevia neutriinoja. Näillä havainnoilla oli ratkaiseva merkitys neutriinin olemuksen selvittämiseksi.

Neutriinoista on annettu Nobeileita myös aiemmin. Frederick Reines sai vuoden 1995 palkinnon neutriinin löytämisestä ydinvoimalan kupeessa olevalla koelaitteistolla, mikä tapahtui jo 50-luvulla. Vuonna 1988 palkittiin Leon Lederman, Melvin Schwartz ja Jack Steinberger löydöstä, että neutriinoja on kahta eri lajia. Sittemmin on löydetty myös kolmas neutriinolaji, ja osoitettu että neljättä lajia ei enää ole, ellei se ole kovin poikkeava ominaisuuksiltaan. Myös neutriinin olemassaolon 30-luvulla ennustanut Wolfgang Pauli sai Nobelin palkinnon vuonna 1945, vaikkakin ihan muista ansioista.