



Koulujen

CERN

SYYSKUU 2007

T i e d e o p i s k e l u



OPETUSHALLITUS



FYSIIKAN TUTKIMUSLAITOS



ULKOASU JA TAITTO

Olli Hyvärinen

TOIMITUS

Liisa Hyvärinen
Sippo Kurra
Riitta Rinta-Filppula
Anna-Maija Pölkki

KUSTANTAJA

Fysiikan tutkimuslaitos

JULKAISUPÄIVÄ

Jyväskylässä 7. syyskuuta 2007

PAINATUS

Tornion kirjapaino

PAINOSMÄÄRÄ

2000 kpl

Julkaisun tavoitteena on antaa pohjatietoja matemaattisten aineiden opettajille, jotta he saisivat valmiuksia osallistua tiedekeskusteluun, kun maailman suurin hiukkaskiihdytin käynnistyy Cernissä 2008.



Julkaisun kansi on koottu Cernin kuva-arkistosta löytyvästä materiaalista. Kuva-arkistoon voit tutustua osoitteessa www.cern.ch

Tämän julkaisun löytää myös sähköisessä muodossa osoitteesta lukio.pyhajoki.fi/cern



ANTERO HIETAMÄKI REHTORI, PALOKAN LUKIO, JYVÄSKYLÄN MAALAIKUNTA

MUISTOJA CERNISTÄ KAHDEN VUOSIKYMMENEN TAKAA

Maaliskuu 1988, Teknillinen korkeakoulu, Otaniemi.

KAKSI NELJÄN VUOSIKURSSIN FYSIKKOTEKKARIA TAVAILEE teknillisen fysiikan laitoksen ilmoitustaululta tiedotetta Cernin kesäopiskelijajohtajasta. Viidellä suomalaisella fysiikan opiskelijalla näyttää olevan mahdollisuus päästä kolmeksi kuukaudeksi Cerniin kesäopiskelijaksi, vaikka Suomi ei vielä olekaan Cernin jäsen. Hakemus vain vetämään.

Kuukautta myöhemmin posti tuo iloisia uutisia kummallekin. Matkajärjestelyt on tehtävä melko pikaisesti: Interrail-kortti on kätevä matkalippu, sillä kun voi tehdä kuukauden ajan viikonloppuretkiä Genevestä Eurooppaan. Juhannuksena ehditään käydä Epernayssä tapaamassa muita Euroopassa kesätoissa olevia opiskelukavereita, vaikka pimeät yöt kieltämättä latistavat hieman juhlatunnelmaa. Toisten löytäminen tässä Champagne-alueen pääkaupungissa ei tosin onnistu vaikeuksista, kännykkä kun ei ole vielä tavallisen opiskelijan vakiovaruste. Sähköposti ja internet ovat sentään fysiikan opiskelijan jokapäiväisiä työvälineitä, vaikka WWW onkin vasta **Tim Berners-Leen** päässä oleva ajatus, jonka tarkoituksena on helpottaa Cernin tutkijoiden tiedonkulkua.

Kokeneemilta saatujen vihjeiden perusteella majapaikaksi valikoituu Ranskan puolella St. Genis'ssä sijaitseva "foyer": huone 10 hengen solussa. Ranskalainen patonki uunituoreena kelpaa herkuksi suomalaisenkin suuhun, mutta maanantaiaamuna kaksi päivää kaapissa kuivaneena se sopisi paremmin toimittamaan vasaran virkaa.

Parin kilometrin matka Cernin pääportille sujuu näppärästi Cernistä lainatulla polkupyörällä. Mainekas Cern on ulkonaisesti vaatimattoman näköinen: rahat on käytetty komeiden seinien sijasta huipputeknisiin tutkimuslaitteisiin, joista tärkeimmät ovat maan uumenissa. **Carlo Rubbian** johtama tutkimusryhmä on löytänyt W- ja Z-välilobsonin SPS-kiihdyttimellä jo viisi vuotta aiemmin ja ehtinyt saada löydöstään Nobelin palkinnon. Nyt suunnitellaan uutta LEP-kiihdytintä ja sen koeasemia – suomalaiset ovat mukana valmisteluissa

Joka päivä on kesäopiskelijoille suunnattuja luentoja, joita pitävät Cernin parhaat asiantuntijat. Teoreettinen ja kokeellinen hitufysiikka tulevat tutuiksi, vaikka välillä ymmärrys ei tahdo riittää kaikkiin hienouksiin. Ehkä mielinpainuvinta on kuitenkin kansakäymien lähes kaikista Euroopan maista tulleen kesäopiskelijajoukon kanssa. Cernin kuppila on sulatusuuni, jossa eri maiden opiskelijat ja varttuneemmat tutkijat kohtaavat ja keskustelelevat kaikesta maan ja taivaan välillä.

CERNIN TUTKIMUSHANKKEET OVAT MITTASUHTEILTAAN JA TAVOITTEILTAAN

nuoren opiskelijan päätä pökerryttäviä: sadat tutkijat, insinöörit ja muut asiantuntijat eri kansallisuuksista ja kulttuureista tekevät koelaitteistoja, joiden vaatima teknologia ei ole edes olemassa hankkeen suunnittelun alkaessa. Kulttuurierojen vuoksi projektikokoukset näyttävät suomalaisesta opiskelijasta sangen kaoottisilta. Mutta niin vain: tekniset ratkaisut löydetään, laitteistot ja tietokoneohjelmat valmistuvat, hiukkaset törmäävät toisiinsa käsityskyvyn ylittävällä energialla ja uutta fysiikan huippututkimustietoa syntyy.

Teekkarikaksikollemme löytyy Cernistä myös suomalainen hiukkasteoreetikko diplomityön ja sittemmin väitöskirjan ohjaajaksi. Tie vie Cernistä Helsingin yliopiston teoreettisen fysiikan tutkimuslaitokselle jatko-opiskelijaksi ja tutkijaksi. Sittemmin toinen jatkaa tutkijanuralla ulkomaisissa yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa, välillä Nokian tutkimuskeskuksessa ja sitten Teknillisen korkeakoulun professorina. Toinen taas päätyy opetus- ja hallintotehtäviin ammattikorkeakoulussa, opetushallituksessa ja lukioissa.

Suomi liittyi Cernin täysjäseneksi vuonna 1991. Kuluva vuosikymmenen aikana Cernissä, Fysiikan tutkimuslaitoksessa ja yliopistoissa, opetushallituksessa sekä lukioiden Cern-verkostossa tehty työ on antanut lukiolaisillekin mahdollisuuden päästä tutustumaan tähän hiukkaskihtiin huippupaikkaan. Käynti Cernissä voi muuttaa elämäsi – uskallatko lähteä?

OPETUS PERUSTUU TIETEELLISEEN TIETOOON

Yksi koulun tehtävistä on huolehtia siitä, että oppilaat ja opiskelijat saavat luotettavaa ja tieteellisillä menetelmillä tuotettua tietoa sekä oppivat omatoimista tiedon tuottamista ja sen kriittistä arviointia.

Teksti **Jari Koivisto**



tää itseämme tosi onnekkaina saadessamme jakaa edes pieneltä osin sitä tutkimuksen tuskaa ja iloa, jota Cernissä tunnetaan.

KOULUN FYSIIKANOPETUKSEN perustana on tieteellisellä menettelyllä tuotettu tieto. Tiedosta on vaikea sanoa milloin se on muuttunut lopulliseksi totuudeksi ja milloin on kyseessä mallinnus, jota myöhemmin voidaan radikaalistikin muuttaa ja tarkentaa kuvaamaan paremmin todellisuutta. Hiukkasfysiikan ja siihen läheisesti liittyvässä kosmologian tutkimuksessa entistä hienostuneemmat mallit seuraavat toisiaan ja todellisuutta pystytään kuvaamaan jo nyt aivan käsittämättömällä tarkkuudella.

Yksi mielenkiintoisista maailmankuvan perusongelmista on se, mitä on massa. Tähän antoivat hyviä vastauksia jo **Isaac Newton** ja **Ernst Mach**, mutta hyvin lujan tulkinnan tarjosi lopulta **Albert Einstein**. Gravitaatiota käsittelevissä tutkimuksissaan Einsteinilla oli se näkemys, että yleinen gravitaatiovakio on todellakin vakio. **Carl Brans** ja **Robert Dicke** uskaltautuivat vuonna 1961 haastamaan Einsteinin näkemyksen kiinteästä gravitaatiovakiosta väittämällä, että se ei oikeasti olekaan vakio, mistä seuraa massan riippuvuus siitä, missä päin ja milloin massaa havainnoidaan. Samoihin aikoihin **Peter Higgs** esitteli oman näkemyksensä

siitä, miten massaa yleensä ollenkaan voi esiintyä avaruudessa. Nyt Cernissä on meneillään mittavia hankkeita Higgsin näkemysten varmistamiseksi ja tätä työtä suomalaiset opiskelijat pääsevät seuraamaan. Kenties piankin saamme selville sen, mitä massa oikeastaan on. Satoja vuosia kestänyt projekti massan ymmärtämiseksi on loistava esimerkki siitä, miten tieteellistä tietoa hankitaan ja miten se kumuloituu eri lähteistä yleiseksi ymmärrykseksi todellisuudesta. Uusi kiinnostava haaste tutkimukselle on saada selville, mitä on avaruudessa kaikkialla oleva pimeä aine, joka on tuonut uuden mullistuksen näkemyksiin maailmankaikkeuden kohtalosta.

Fysiikan opetus ja sen sisältö kiinnostaa suomalaisia, mistä on iloittava. Kansainvälisesti on alkanut kuitenkin esiintyä näkemyksiä siitä, että fysiikan opetuksessa tulee tuoda esiin myös sellaisia tulkintoja maailmasta ja todellisuudesta, jotka eivät perustu tieteellisiin menetelmin kerättyyn tietoon vaan pikemminkin mielipiteisiin ja uskomuksiin. Fysiikan opetuksessa on kuitenkin tarjottava opiskelijalle parhaaseen tieteelliseen tietoon perustuva näkemys siitä, millainen todellisuus on. Uskon että koulujen CERN-hanke on yksi niistä kulmakivistä, jolla fysiikan opetuksen tieteellinen perusta varmistetaan suomalaisissa kouluissa.

Suomalaiset fysiikasta innostuneet opiskelijat ovat sikäli erityisen hyvässä asemassa, että heillä on mahdollisuus päästä tieteellisen tiedon alkulähteille Cerniin. Cernissä opiskelija näkee, miten tutkimustyö oikeasti yhdellä fysiikan alalla tapahtuu, havaitsee vaikeudet koeasetelmissa ja teorian kehittämisessä sekä huomaa, miten lujasti tutkijat ovat vakuuttuneita siitä, että luonnon ilmiöt ovat ymmärrettävissä. Jotkut ilmiöt ovat selitettävissä pienessäkin ajassa, mutta jotkut arvoitukset ovat niin haastavia, että tuntuu toivottomalta odottaa pikaista ratkaisua.

Fysiikan ongelmat ovat toisaalta tutkijoita motivoivia, koska ratkaisut ovat usein ennakkoimattomia ja yllättäviä ja saattavat avata aivan uusia tutkimuksen suuntia. Tällaisia yllätyksiä tutkimukseen ovat tuoneet muun muassa Newtonin lait, Maxwellin yhtälöt, Planckin kvanttimekaniikka ja Einsteinin suhteellisuusteoria. Ne vaikuttavat opiskelijan silmin monesti täysin lujilta rakenteilta, jotka tulkitsevat vuorenvarmasti ja luotettavasti todellisuutta omilla alueillaan. Tutkijan tehtävä on kuitenkin nähdä todellisuus näidenkin monumenttien ohitse ja luoda jos mahdollista vielä tarkempi ja parempi kuvaus luonnon ilmiöistä. Tämä on sitä työtä, mitä Cernissä tehdään ja voimme pi-

Cernissä opiskelija näkee, miten tutkimustyö oikeasti yhdellä fysiikan alalla tapahtuu, havaitsee vaikeudet koeasetelmissa ja teorian kehittämisessä sekä huomaa, miten lujasti tutkijat ovat vakuuttuneita siitä, että luonnon ilmiöt ovat ymmärrettävissä. Jotkut ilmiöt ovat selitettävissä pienessäkin ajassa, mutta jotkut arvoitukset ovat niin haastavia, että tuntuu toivottomalta odottaa pikaista ratkaisua.

SUKELLUS HIUKKASTEN MAAILMAAN

Vuosituhaten alusta lähtien suomalaiset lukiolaiset ovat päässeet tutustumaan Cernissä tehtävään perustutkimukseen ja tutkimuslaitteisiin. Tiedeopintojen suuri suosio ja siitä saatu positiivinen palaute on ollut hämmästyttävää - tiedeopiskelu on jopa hauskaa!

Teksti **Riitta Rinta-Filppula**



KARI KÄÄRIÄINEN

Tiedeopiskelu on hauskaa! Kuvassa Mikkelin lyseon lukion, Mikkelin Yhteiskoulun lukion ja Puumalan yhteiskoulun tiedeopiskeluryhmä. Taustalla laitteisto, jolla löydettiin W- ja Z-välibosonit Cernissä vuosina 1982 ja 1983.

Suomi liittyi Cernin jäseneksi vuonna 1991, mutta yhteistyö Cernin kanssa alkoi jo 1960-luvulla. Suomalaista tutkimustoimintaa Cernissä koordinoi valtakunnallinen neljän yliopiston (Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Jyväskylän yliopisto ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto) yhteisesti hallinnoima Fysiikan tutkimuslaitos (Helsinki Institute of Physics, HIP).

Kansainvälinen huippututkimus ja tutkijat oppimisen innostajina

Fysiikan tutkimuslaitos, HIP aloitti vuonna 2000 Cernin hiukkasfysiikan tutkimustuloksien integroinnin lukion fysiikan opetukseen. Innostuneiden lukiolaisryhmien opettajien ja tutkijoiden yhteistyön tuloksena luotiin ensimmäiset toimintamallit lukiolaisten tiedeopinnoille Cernissä. Erityisen tärkeää on, että toiminta kuuluu lukion fysiikan opetussuunnitelmaan ja että oppilaat opiskelevat hiukkasfysiikkaa jo omassa koulussaan ennen Sveitsin matkaa.

Fysiikan opettajat hämmästyivät, miten kansainvälinen hiukkasfysiikan tutkimus

motivoi oppilaita tekemään omakohtaisia tutkielmia ja käymään tiedekeskusteluja huippututkijoiden kanssa Cernissä. Ohjelman saavuttaman suosion innostamana opetushallitus perusti suomen- ja ruotsinkielisen valtakunnallisen koordinaatioverkoston vuonna 2002 tukemaan HIP:n järjestämää lukion modernin fysiikan koulutusta sekä opettajien viikon täydennyskoulutusta Cernissä. Ohjelmistoa täydennettiin vuonna 2004 järjestämällä rehtoreille ja opinto-ohjaajille kahden päivän tutustumismatkoja Cerniin. Suomenkielisen verkoston toimintaa koordinoi Jyväskylän maalaiskunta ja ruotsin kielisen Tampereen kaupunki.

Maailman parhaat fysiikan opettajat tiedeopintojen valmentajina

Lukiolaisten kansainvälinen tiedeopiskelu muodostuu lukion modernin fysiikan kurssista tai sen jatkokurssista (vanha opetussuunnitelma, uudessa opetussuunnitelmassa aine ja säteily) omassa koulussa sekä kolmen päivän opinnoista Cernissä. Kurssien luennoitsijoina ja oppaina koasemilla ovat

Cernin tutkijat. Opetus on pääasiallisesti äidinkielellä, mutta muutamia esityksiä on myös englanniksi.

Fysiikan opettajien muodostamat alueelliset yhteistyöverkostot hakevat seuraavan lukuvuoden lukiolaisten tiedeopintoihin edellisen lukuvuoden tammi-helmikuussa. Alustavat päätökset tiedeopintopaikasta Cernissä tulevat jo maaliskuussa, jolloin opettajat aloittavat oppilasryhmien valmentamisen seuraavan lukuvuoden tiedeopintoja varten. Opettajat järjestävät opintomatkoja esimerkiksi korkeakoulun kiihdytinlaboratorioon, sairaalan tai yrityksen tutkimuslaboratorihin jne. jo ennen Geneven matkaa. Kaikki ryhmät opiskelevat hiukkasfysiikkaa omassa koulussaan, ja osa ryhmistä etenee yllättävän syväisiin opintoihin. Jokaiselle ryhmälle räätälöidään heidän tasoaan vastaava opetus Cernissä. Minulla on ilo seurata näin syntyneitä suorastaan nautinnollisia tiedekeskusteluja, jotka syntyvät, kun maailman parhaiden fysiikan opettajien (Pisa-tutkimuksen mukaan) valmentamat lahjakkaat lukiolaiset keskustelevat kansainvälisten huippufysiikkajoukkojen kanssa oppilaita kiinnostavista aiheista.

Yhteistyö on innostavaa!

Toiminnan alussa lukiolaisryhmät tiedeopintoihin Cerniin tulivat samasta lukiosta. Suosion kasvaessa mukaan on valittu vain opettajien muodostamia oppilasryhmiä useista lukioista. Näin syntyvät yhteistyöverkostot lukioiden välille, kun opettajat suunnittelevat yhteisiä tiedeopintoja ja valmentavat oppilaita ennen luvattua matkaa Cerniin.

Kevään 2007 loppuun mennessä lukiolaisten tiedeopintoihin Cernissä on osallistunut noin 1600 lukiolaista ja heidän opettajaansa sekä fysiikan opettajien modernin fysiikan viikon täydennyskoulutukseen 180 opettajaa. Opintojen tuloksena ryhmät ovat järjestäneet tiedotustilaisuuksia, näyttelyjä sekä julkaisseet noin 220 artikkelia 80 sanoma- ja aikakauslehdessä hiukkasfysiikan tutkimuksesta ja fyysikkojen työstä. Tämän lisäksi valtakunnallinen verkosto on julkaissut kaksi omaa julkaisua, joista jälkimmäistä luet parhaillaan sekä alueverkostot ovat tehneet kolme julkaisua.



KARI KÄÄRIAINEN

Ylhäällä. Maarit White esittelemässä ATLAS-koeaseman luolaa.

Oikealla. Cernin porteilla liehuvat jäsenmaiden liput.

Fysiikan opettajien täydennyskoulutukseen hakeudutaan syksyllä. Toiminta on avoinna kaikille fysiikan opettajille, jotka voivat liittyä siihen ottamalla yhteyttä koulujen CERN-verkoston koordinaattoreihin seuraavasti:

suomenkielinen verkosto
cern.koodinaattorit@jklmlk.fi

ruotsinkielinen verkosto
anneli.ohman@elisanet.fi

Opettajien ja lukiolaisten tiedeopiskelu maailman johtavassa hiukkfysiikan tutkimuslaitoksessa voi syntyä ja toimia ainostaan, kun kaikki tahot kokevat sen positiiviseksi omien tavoitteidensa kannalta. Tällöin yhteistyökumppanit tekevät parhaansa tukeakseen ja kehittääkseen toimintaa. Innostus kasvaa ja tulokset paranevat entisestään samalla, kun ohjelma kehittyy edelleen. Juuri näin on tapahtunut Suomen fysiikan opetuksen, kansainvälisen tutkimuskeskuksen Cernin fyysikkojen ja opetushallinnon yhteistyön tuloksena syntyneessä sekä fysiikan opettajien että lukiolaisten tiedeopinnoissa.

CERNIN KUVA-ARKISTO



Kansainvälinen tiede ja suomalainen lukiolainen kohtaavat

CERN-VERKOSTON AVULLA

Suomen lukioiden Cern-verkosto laajenee ja toimii aktiivisesti. Toiminta mahdollistaa lukiolaisten osallistumisen laadukkaisiin tiedeleirikouluihin. Kesällä 2007 Cernissä täsmäkoulutusta hiukkasfysiikassa sai myös 47 opettajaa ympäri Suomen.

Teksti **Anna-Maija Pölkki**
Sippo Kurra



Syksyllä 2005 Cern-tiedeopetuksen koordinointi siirtyi Jyväskylän Cygnaeus-lukion fysiikan varastosta Jyväskylän maalaiskuntaan Palokan koulukeskuksen suojiin. Hankkeen valtakunnallisen koordinoinnin käynnistäneet jyväskyläläiset matematiikan ja fysiikan lehtorit **Helinä Patana** ja **Tiina Suhonen** luovuttivat meille hankkeen, jolle oli kehitelty hyvin toimivat perusrakenteet. Siitä oli hyvä jatkaa.

Näiden kahden koordinoimamme toimintavuoden aikana verkosto on laajentunut ja uudistunut. Hyvät kokemukset niin korkeatasoisesta opettajien täydennyskoulutustamismahdollisuudesta kuin onnistuneista tiedeleirikouluista ovat houkuttelleet uusia opettajia ja kouluja verkoston jäseniksi.

Kesän 2007 kolmelle opettajakurssille osallistui 47 opettajaa ja halukkaita jäi odottamaan ensi kesän kursseja. Leirikouluihin hakeneita ryhmiä oli reilusti yli vapaiden paikkojen. Myös rehtoreille ja opinto-ohjaajille on järjestetty kahden päivän tutustumismahdollisuus Cernin tarjoamaan tiedeopetukseen. Verkosto laajenee ja voi hyvin.

Pitkäjänteistä yhteistyötä

Verkoston toiminta on laajentunut vuosien kuluessa rahoituksen leikkauksesta huolimatta. Tällöin yhteistyökumppanit, jotka voivat tarjota puitteet ja toimintaa halvalla tai jopa ilmaiseksi, ovat tämän laajuuden toiminnan kannalta välttämättömiä. Esimerkiksi Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos on vuosittain tarjonnut niin puitteet kuin asiantuntevat luennoitsijat syysseminaarihimme, joihin on osallistunut leirikouluja valmistelevia opettajia ja runsas joukko opiskelijoita - kauimaiset aina Kolarista saakka. Laajentuneen verkoston ja lisääntyneiden leirikoulujen ja opettajakurssien myötä myös rahaliikenteen hoitaminen vaatii koordinaattorikunnalta kasvanutta panosta, mistä erityinen kiitos Jyväskylän maalaiskunnan rahaliikenteen hoitajille.

Vaikka OPH:n hankerahoitus on välttämättömän edellytys koko Cern-tiedeopetuksen toteutumiseksi, ei OPH:n avustus kata yksittäisen leirikoulun kokonaiskustannuksista parhaimmillaankaan kuin kolmanneksen. Leirikouluun osallistuvien opiskelijoiden on joko säästettävä ja/tai kerättävä loput rahoituksesta esimerkiksi talkoilla. Tie-

deleirikouluun valmistautuminen vaatii pitkäjänteistä työtä sekä rahoituksen että kurssien toteutuksen suhteen. Erilaisten yhteistyötahojen kanssa toimiminen onkin opiskelijoille hyvää työelämätaitojen harjoittelua.

Koko Suomen kattava verkosto

Verkoston toimintaa on ohjattu itsenäisesti toimivien alueverkkojen suuntaan. Alueverkkojen toimintatavoille ei ole mitään yhteistä mallia, vaan tavat ja yhteistoiminnan muodot ovat hioutuneet olosuhteiden erilaisuuden myötä varsin monenlaisiksi. Laajassa verkostossa yhteydenpito ja tiedottaminen on hakenut muotoaan. Toimiviksi tavoiksi yhteydenpidossa ja tiedottamisessa ovat muodostuneet sähköposti, lumapilottilista ja Dimensio-lehti. Tehokkaimmaksi tiedotuskanavaksi on kuitenkin osoittautunut opettajien kesken suusta suuhun leviävät hyvät kokemukset.

Löytyykö valtakunnasta toista yhtä laajaa ja aktiivista verkostoa runsaine yhteistyökumppaneineen? Verkoston sähköpostilistalla on 130 koulua ympäri Suomea. Alueverkkojen joustavuudesta ja avoimuudesta hyvinä esimerkkeinä ovat leirikouluhankkeet, joissa alueverkkojen niin vetäjät kuin jäsenet vaihtuvat lähes lukuvuosittain. Näin mukaan pääsee uusia opettajia ja kouluja kokeneiden tuella ja toisaalta vetovastuun kierteessä taakkaa ei muodostu kenellekään liian suureksi.

Vaikka verkoston ääripäät pohjois-eteläsuunnassa ovatkin Ivalo ja Perniö sekä itä-länsisuunnassa Joensuu ja Uusikaupunki, yksittäisten leirikoulujen toteutuksissa ovat fyysiset etäisyydet kutistuneet. Yhteistä leirikoulua voivat olla toteuttamassa vaikka Askolan ja Kolarin lukiot. Lähes 1000 kilometrin välimatka ei ole este yhteisessä opiskelussa ja leirikouluun valmistautumisessa. Opiskelijat pääsevät aidosti hyödyntämään verkko-opiskelutaitojaan. Kouluihin hankitut video-opetuslaitteet tuovat etäisten yhteistyökoulujen opiskelijat toistensa näkö- ja kuuloetäisyydelle.

Etenkin pienissä lukioissa fysiikan opettaja saattaa olla yksinäinen puurtaja, jolle on



KARI KÄÄRIÄINEN

verkoston kautta löytynyt yhteistyökumppaneita ja sukulaissieluja Higgsin hiukkasen myötä. Kun kuntien säästökampanjoissa myös opettajien koulutusrahoista on nipistetty, muodostavat ympäri Suomen verkostoituneet opettajat keskenään arvokkaan vertaisverkon, joka mahdollistaa pedagogisten ideoiden ja kokemusten vaihtamisen eli toisin sanoen opetuksen kehittämisen, vaikka yhteisiin koulutustapahtumiin ei olisikaan mahdollisuutta osallistua.

Tulevaisuuden näkymät

Toivomme tietysti hankkeelle lisää vuosia, sillä tuskinpa mikään kotimainen tiedeopiskelu ja/tai leirikoulukohde vetää vertoja Cernin nuhriselle ja sokkeloiselle tiedemiljöölle. Puitteet ovat toissijaiset silloin, kun aito innostus ja tiedonjano toimivat työskentelyn motivoijina. Kurkistus kansainväliseen tiedeyhteisöön on avartava kokemus niin uraansa suunnittelevalle nuorelle kuin nuoria tulevaisuuteen ohjaavalle opettajalle.

Kaikkihan eivät Cerniin pääse, joten niin opettajakursseilla kuin leirikouluissa opitun ja koetun jakaminen on hankkeen yksi tavoite. Pedanettiin avattu kotimainen Cern-sivusto ammottaa vielä tyhjyyttään. Sivuston

rakentaminen onkin yksi tulevaisuuden haasteista. Cernin omilla www-sivuilla löytyy niin webuniversityn kuin Openetinkin materiaalit, jotka ovat opettajien ja osin opiskelijoidenkin käytettävissä.

Vaikka Higgsin hiukkasen löytyisikin heti LHC-kiihdyttimen käynnistymisen alkumetreillä, ei kukoistavaa tiedeopetushanketta tarvitse unohtaa tarpeettomana. Cernin tiedeyhteisö tarjoaa hiukkasfysiikan maailmasta paljon uutta ja kiehtovaa opiskeltavaa nuorille fyysikon aluille ja heidän opettajilleen.

📖 **Yihäällä.** Kosmologiasta kiinnostuneita lukiolaisia keskustelemassa teoreettisen fysiikan tutkijan Syksy Räsänen kanssa Cernin ruokalassa.

📖 **Alhaalla.** Ilmakuvaa Cernin alueesta.

LISÄTIETOJA

cern.koordinaattorit@jklmk.fi
<http://webuniversity.web.cern.ch>

CERNIN KUVA-ARKISTO



TAMPEREELTA GENEVEEN JA TAKAISIN

Cern-yhteistyön myötä Tampereen seudun lukiot ovat muodostaneet tiiviin verkoston, josta ovat hyötäneet niin oppilaat kuin opettajatkin. Hatanpään lukion fysiikan opettaja Heikki Tanskanen kertoo, mistä kaikki alkoi ja mihin on päädytty.

Tampereen kaupungin lukioiden CERN-projekti käynnistyi vuonna 2000. Tällöin osallistuin ensimmäistä kertaa fysiikan opiskelijoideni kanssa suoraan videoneuvotteluyhteyteen Cerniin Näsineulasta.

Muutama viikko videoneuvottelun jälkeen **Riitta Rinta-Filppula** otti yhteyttä rehtoriimme. Tampereelta ei ollut käynyt vielä yhtään opiskelijaryhmää Cernissä ja niinpä Riitta kyseli, josko meillä olisi mielenkiintoa lähteä perehtymään tarkemmin hiukkasfysiikan pieneen suureen maailmaan. Arvatkaapas keneen rehtoriimme otti asiasta yhteyttä. No tietenkin Hatanpään lukion ainoaan fysiikan opettajaan eli allekirjoittaneeseen. Noviisina oli tietysti suuret suunnitelmat, että koko fysiikan ryhmä (noin 15 opiskelijaa) lähtee tiedeleirille matkaan ja niinpä paikkoja varattiin koko ryhmälle.

Seuraavana syksynä alkoi totuus paljastua: vain puolet omasta fysiikan ryhmästäni oli kiinnostunut lähtemään Cerniin tiedeleirille. Rehtoriimme siirtyi Tampereella toisen lukion rehtoriksi, joten yhteistyö oli helppo virittää siihen suuntaan. Nopeasti saimmekin ryhmän kokoon ja lähtijöitä oli loppujen lopuksi 13 opiskelijaa. Mukaan mahtui yksi rohkea tyttökin ja siitä eteenpäin on tyttöjä aina ollut ryhmässä mukana. Matka sujui niin hyvin kuin se voi vaan sujua ottaen huomioon, että oltiin ensimmäistä kertaa Cernissä eikä osattu sanaakaan ranskaa.

Matkan parasta antia oli, että yksi humanistisiin jatko-opintoihin suuntautunut

opiskelija pohti takin kääntämistä luonnontieteiden hyväksi Geneven lentokentällä juuri ennen kotimatkan alkua. Kaikista mahdollisista tapahtumista viisastuneena mieleen alkoi hiipiä ajatus osallistumisesta leirille uudelleen. Matkan järjestelyt vaativat kuitenkin paljon aikaa ja itselläkään ei ole joka vuosi mahdollista lähteä matkalle, joten jotain olisi keksittävä.

Uuden valintamallin aloitus

Tein uuden hakemuksen vuosi ensimmäisen tiedeleirin jälkeen. Myöntävän päätöksen jälkeen lähetin kaikille Tampereen kaupungin lukioiden rehtoreille asiasta tiedotuksen ja kutsuin fysiikan opettajat koolle tiedotustilaisuuteen. Paikalle tuli 4-5 opettajaa ja Kaarilan lukion fysiikan lehtori **Juhani Mustakangas** lupautui historiallisen toisen ryhmän vetäjäksi. Opettajat kyselivät omilta opiskelijoiltaan halukkuutta tiedeleirille osallistumiseen ja halukkaita löytyi 10 abia neljästä eri lukiosta. Syksyllä moni haluaisi osallistua matkalle, mikä on ymmärrettävää FY 8 -kurssin sijoittelun takia (varmaankin monessa lukiossa kyseinen kurssi on juuri syksyllä). Mitä me hyödyimme siitä, jos kolmannen vuositason opiskelijat osallistuivat matkalle? Emme paljoakaan. He kertovat tiedeleirin annista FY 8 -kurssin lopussa, mutta siihen se jääkin. Abit häviävät päivittäisistä rutiineista helmikuussa eikä heidän tietämystään Cernistä voida enää hyödyntää.

Jälleen viisastuttiin ja päätettiin keskittyä

Teksti ja kuvat **Heikki Tanskanen**

lukion toisen vuositason opiskelijoihin ja ajankohdaksi valittiin kevät. Tällöin opettajat ei tarvitse järjestellä matkaa kesän aikana ja opiskelijat on käytettävissä seuraavana syksynä FY 8 -kursilla erikoisasiantuntijoina. Vuonna 2005 kolmannelle tiedeleirille osallistui 14 toisen lukuvuoden opiskelijaa neljästä eri lukiosta. Hakemuksia tuli kaikkiaan 36 kappaletta.

Miten seuraavan joukon valinta tapahtuu

Tampereen seudulta osallistutaan tiedeleirille seuraavan kerran keväällä 2008. Tiedeleiriä on tarjottu Tampereen seudun seututarjoittimelle. Tämä tarkoittaa, että toteutuessaan kurssille voi hakea kaikki Tampereen, Kangasalan, Lempäälän, Nokian, Pirkkalan ja Ylöjärven lukioiden opiskelijat. Tätä artikkelia kirjoitettaessa ei täyttä varmuutta vielä ole kurssin hyväksymisestä seututarjoittimelle, mutta valintaprosessi kuitenkin etenee samalla tavalla hyväksymisestä tai hylkäämisestä huolimatta.

Tampereen ja Tampereen seudun lukioille lähetetään tiedote vuoden 2008 tiedeleiristä. Asiasta järjestetään tiedotustilaisuus keväen 2007 aikana ja samalla valitaan tiedeleirin vetäjä ja apuvalvoja (voidaan valita myöhemminkin). Syksyllä 2007 tiedeleirin vetäjä lähettää tiedotuksen lukioille ja ohjeet opiskelijoille, kuinka leirille haetaan. Hakijat rajoitetaan toisen vuositason opiskelijoihin. Opiskelijat tekevät vapaamuotoisen hakemuksen ja liitteeksi jaksotodistuksen. Hakemukset annetaan omalle fysiikan opettajalle, joka tekee tarvittaessa ensimmäisen karsinnan. Syksyllä 2007 opettajat kokoontuvat valitsemaan tiedeleirille lähtevät opiskelijat. Jokaisen lukion opettaja, josta hakemuksia on tullut, tuo tilaisuuteen korkeintaan neljän opiskelijan hakemukset (jos määrä ei täyty näillä, niin sitten voidaan ottaa enemmänkin yhdestä lukiosta). Pyrkimyksenä on, että samasta lukiosta pääsee tiedeleirille 2-3 opiskelijaa. Pääsykriteereinä on fysiikan ja matematiikan opinnoissa menestyminen, jatko-opintosuuntautuneisuus fysiikan tai tekniikan alalle sekä mahdollinen harrastustoiminta fysiikan alueelta. Lisäksi kemian





☑ **Ylhäällä.** Tiedeopintomatkalaiset Markus Nordbergin luennolla.

☑ **Viereinen sivu.** Plasmalampun magiaa Cernin Microcosmoksessa.

ja ranskan taidot voidaan huomioida tarvittaessa. Myös sukupuolijakauma pyritään pitämään mahdollisimman tasaisena.

Opiskelijat kootaan ensimmäiseen tapaamiseen mahdollisimman pian valinnan jälkeen. Koska kyseessä on toisen vuositason opiskelijat, pitää heidän opiskella leirille vaadittava tietotaso. Opiskelijat jaetaan ryhmiin ja ryhmille annetaan jokin Cerniä koskeva aihe tutkittavaksi (kiihdyttimet, ilmaisimet, alkeishiukkaset jne.) Opiskelijat jaetaan ryhmiin siten, että samassa ryhmässä ei ole lukiostaan kuin yksi opiskelija. Opiskelijoille tehdään verkko-opetusalusta Moodleen, jota kautta he voivat keskustella tutkimusaiheestaan ja tuoda tuotoksensa muiden nähtäväksi. Näin saadaan opiskelijat tutustumaan toisiinsa ja kun lukiostaan ei ole montaa opiskelijaa, niin lukiokohtaisia kuppikuntia ei pääse muodostumaan.

Valmistautumiseen sisältyy mahdollisuuksien mukaan vierailu Tampereen Teknisellä Yliopistolla.

Muutama viikko ennen lähtöä kokoonnutaan tutkielmien purkutilaisuuteen, missä

ryhmän jäsenet esittelevät tuotoksensa. Toiset ryhmät ovat voineet tutustua esitelmiin ennakolta ja itse purkutilaisuudessa esitelmästä voidaan vielä keskustella. Tässä vaiheessa opettaja(t) varmistavat tiedeleirillä tarvittavan tietotason. Tutkielmia täydennetään tiedeleirin aikana opituilla asioilla ja lopullinen tutkielmien palautus suoritetaan pikaisesti matkan päättymisen jälkeen. Tutkielmat laitetaan lukiodien kotisivuille esille, josta ne ovat helposti käytettävissä esimerkiksi tuntitilanteessa. Opiskelijoille jaetaan lopuksi todistukset tiedeleirille osallistumisesta.

Miten hyödynnetään Cernin tiedeleirin antia

Eri lukioissa tiedeleirin antia hyödynnetään monella eri tavoin. Seuraavassa muutamia esimerkkejä:

Fysiikan ensimmäisellä kurssilla otetaan selvää, mikä CERN on ja mitä siellä tehdään. Tutustutaan Cernin sivustoon.

Muillakin fysiikan kursseilla aihepiirin ollessa sopiva viitataan Cerniin. Tätä ei osattaisi tehdä, jos Cernissä ei oltaisi käyty.

Cernissä käyneet opiskelijat esittelevät matkaansa valokuvanäyttelyn avulla. Valokuvanäyttely esillä myös muissa lukion tapahtumissa (vanhempainillat, lukion esittelyillat, ...)

Fysiikka 8 -kurssilla opiskelijat opetta-

vat/toimivat asiantuntijoina tiedeleirin pohjalta.

Ennen matkaa ranskanlukijat (jos heitä on mukana) opettavat ranskan alkeita muille lähtijöille. Matkan jälkeen ranskan lukijat pitävät ranskan tunnilla esitelmän Cernistä ranskaksi.

Lukioiden ilmoitustauluilla on CERN-aiheista materiaalia, jopa eri kielillä.

Tiedeleirin osallistujat ovat olleet lukiodien esittelyilloissa mukana esittelemässä tiedeleirin antia tuleville lukiolaisille ja heidän vanhemmilleen.

Tiedeleiristä tehtävä matkaraportti, jonka opiskelijat ovat tehneet, on näkyvillä ilmoitustauluilla kaikille lukion opiskelijoille. Matkaraportti lähetetään myös tukijoille ja julkaistaan mahdollisuuksien mukaan paikkakunnan lehdissä.

Opettajayhteistyö

Tampereella on kymmenen lukiota, joissa monessa on ainoastaan yksi fysiikan opettaja. Kun kokoonnutaan valmistelevaan uutta matkaa, samalla tutustutaan muihin fysiikan opettajiin ja voidaan keskustella muistakin opetukseen liittyvistä asioista. Monet opettajat kokevat tällaiset yhteistyön erittäin merkittäväksi, vaikka heidän lukiostaan ei opiskelijoita edes lähtisi tiedeleirille kyseisenä vuonna.

Opettajat opinpenkillä Higgsin hiukkasta etsimässä:

CERNIN OPETTAJAKURSSILTA OPISKELIJOIDEN TIEDEOPINTOJEN VALMENTAJAKSI

Järvenpään lukion lehtori Pasi Ketolainen osallistui Cernin opettajankoulutusohjelmaan kesällä 2006 ja vieraili Cernissä oppilasryhmän mukana syksyllä 2006. Jutussaan hän kertoo matkakokemuksistaan ja siitä, miten tiedeopintoihin valmistauduttiin yhdessä Helsingin Suomalaisen Yhteiskoulun kanssa jo ennen matkaa.

Teksti ja kuva **Pasi Ketolainen**

Vietin kesäkuun ensimmäisen viikon opettajien ”Modernin fysiikan täsmäkoulutuksessa” Cernissä Geneven kupeessa. Viisitoista fysiikan opettajaa eri puolilta Suomea saapui 6.-9.6. ensimmäiseen Cernin järjestämään opettajien koulutukseen.

Cernin pääsihteeri **Maximilian Metzger** toivotti meidät tervetulleeksi ensimmäisen koulutusohjelman kunniaksi. CERN aloitti uuden kansallisen opettajien koulutusohjelman, joka järjestetään kurssilaisten äidinkielellä. Kurssi toteutettiin läheisessä yhteistyössä HIP:n kanssa, ja se kuului Koulujen CERN-verkoston ohjelmaan. Tämä kurssilaisten äidinkielellä järjestetty kurssi oli ensimmäinen laatuaan Cernille mutta ei Suomelle. **Riitta Rinta-Filppula** on organisoinut aiemmin useita suomenkielisiä kursseja opettajille. CERN on järjestänyt opettajille jo aikaisemmin englanninkielisiä kursseja.

Osaltani vierailu oli napakymppi, sillä kouluni, Järvenpään lukio, valittiin yhdessä Helsingin Suomalaisen Yhteiskoulun SYKin kanssa leirikouluun Cerniin marras-joulukuun vaihteessa 2006. Tiesin siis kesäkuun koulutuksen jälkeenn mitä tuleman piti, sillä luennot ja vierailut koemasmiin olisivat pääosin samat kuin opiskelijoille.

Lukiolaiset opinpenkillä: miten hyödynnän Cerniä kouluopetuksessa?

Opiskelijavalinnat tehtiin kevätlukukaudella 2006. Valintakriteereinä olivat viimeisimmän opintosuoritukset, suoritusten taso sekä jatkosuunnitelmat. Ensimmäisenä työnään opiskelijat selvittävät kukin hiukkaskiihdyttimen toimintaperiaatteen ja laativat siitä kirjallisen raportin. Kummastakin koulusta opiskelijat muodostivat työparit ja heille annettiin kesälle 2006 tehtävät:

Hiukkaset, jotka ovat jo löytyneet (mm. tunnettujen alkeishiukkasten löytämisen historiaa ja merkitys fysiikan kehitykselle)

Hiukkaset, jotka eivät (vielä) ole löytyneet (mm. teorioiden ennusteet ja niiden ”vaatimat” hiukkaset, mikä merkitys löytymisellä tai löytymättä jäämisellä on, pimeä aine ja pimeä energia maailmankaikkeudessa)

Supersymmetria (yhtenäisteoria(t) hiukkasille ja perusvuorovaikutuksille...)

Cernin poikimat keksinnöt, tekniset sovellukset ja oheistuotteet (tarkoituksella/sattumalta Cerniä varten kehitetyt sovelluksia, joista jotkut ovat yleisessä käytössä)

Cernin historiaa, hiukkasfysiikoiden henkilöhistoriaa (tässä yhteydessä voi esitellä Cernin hallinnointia ja rahoituspohjaa)

Aihealueet arvottiin, koska yhteisymmärrystä ei syntynyt. Sykkiläiset vierailivat 31.5.2006 Järvenpään lukiossa, jolloin opiskelijat tapasivat ensimmäistä kertaa. Sovittiin käytännön toimenpiteistä. Opiskelijat jäivät keskenään ryhmäytymään, jonka jälkeen työparit aloittivat toimintansa.

Kaikki nämä tehtävät annettiin opiskelijoille ennen Cernin opettajienkoulutuskurssia. Jälkeenpäin ajatellen tehtävänannot olivat oikeaan osuneita.

Koulu alkaa...

Syyslukukauden 2006-2007 ensimmäisenä koulupäivänä 10.8. kokoon tuoti Järvenpään lukion Cern-ryhmä vaihtamaan kuulumisia. Näytin heille Cernissä kesäkuun alussa ottamiani kuvia ja kerroin, mikä heitä Cernissä odottaa. Järvenpään ja Sykin ”cernistiit” olivat kesän aikana tavanneet ja hioneet aiheitaan.

Järvenpääläiset suorittivat vastavierailun Sykkiin 31.8. Suunnittelimme leirikoulun käytännön järjestelyjä ja havaitsimme, että opiskelijat olivat ”vanhoja tuttuja”. Ryhmät olivat hitsautuneet yhteen todella hyvin. 12.9. järvenpääläiset vierailivat Helsingin yliopiston fysiikan tieteiden kiihdyttinlaboratoriossa. Syyskuun 15. päivänä osallistuimme Jyväskylässä järjestettyyn Cern-seminaariin, missä tapasimme muita leirikouluun valmistautuvia opettajia ja opiskelijoita ja kuulumme Cernin toimintaan perehdyttäviä

luentoja. Symposiumissa kuultiin myös aiempien leirikoululaisten kokemuksia sekä tutustuttiin Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen kiihdyttinlaboratorioon.

Syksyn 2006 fysiikan ylioppilaskokeeseen osallistuneet leirikoululaiset olivat innoissaan toisesta jokeritehtävästä, joka käsitteli juuri Cernin hiukkaskiihdyttintä.

Kurssikokeesta suoraan lentokentälle

Ryhmätöiden esityspäivät olivat marraskuun lopulla lähtöä edeltävän viikon torstai ja perjantai. Työparit esittelivät työnsä ja esitykset poikivat vilkasta keskustelua. Järvenpään cernistien leirikouluun lähtö tapahtui 28.11.2006 koeviikolla heti kokeen jälkeen. Kapsäkit olivat mukana jo koululla ja kokeen päätyttyä lähdettiin suoraan lentokentälle pikkubussilla. Majoituiimme Geneven keskustan nuorisohostellissa. Kävelymatkan päässä hostellista hyppäsimme seuraavana aamuna bussiin n:o 9 CERN. Mikäli majoittuu Geneven keskustan nuorisohostellissa, kannattaa hankkia bussilippu/liput jo edellisenä iltana. Päädyimme järjestelyyn, että ostimme koko ryhmälle edestakaisen ryhmälipun kahtena päivänä ja kolmantena päivänä menolipun jolloin matkan hinnaksi tuli 2,75 3 frangin sijaan. Jos viettää koko viikon Genevessä kannattaa miettiä 30 frangin viikkolipun hankkimista, mutta silloin tulee olla passikuva mukana lippua hankittaessa.

Ensimmäisenä päivänä

Cernissä, Riitta Rinta-Filppula oli meitä vastassa, ja hän esitteli leirikoulun tavoitteita. **Markus Nordberg** piti ensimmäisen luennon tempaisten opiskelijat mukaansa esityksellään. Luento varattu aika ei riittänyt, joten Markus joutui jatkamaan ja vastaamaan opiskelijoiden kysymyksiin luentosalin aulaan. Opiskelijoiden mielestä juuri luennon jälkeinen keskustelu asiantun-

tijan kanssa on sitä parasta, mitä lähdettiin kokemaan. Nordberg totesikin, että jos oppilas kysyy, mitä massa on, tulee hänelle antaa kymppi, koska ihmettelemme täällä samaa kysymystä!

Iltapäivällä professori **Jorma Tuominiemi** luennoi hiukkaskiihdyttimen toiminnasta ja kiihdyttimellä tehtävästä tutkimuksesta ja tulevaisuuden haasteista. Mainitessaan, että minut voi keskeyttää ja kysellä, kun tulee tarve, hän ei arvannut, mitä tuleman pitää. Tämän jälkeen alkoi vuoropuhelu opiskelijoiden ja luennoitsijan välillä, joka jatkui ja jatkui, vaikka luentoaika oli päätynyt, ja bussi odotti koeasemalle menijöitä. Opiskelijat ympäröivät Tuominiemen kuten opetuslapset konsanaan ja keskustelu jatkui. Riitta sanoi, että ei ole nähnyt Jormaa näin innostuneena aiemmin. Riitta katsoi huolestuneena kelloaan: ”Myöhästymme koeasemalta.” Luennoitsija ja opiskelijat vain jatkoivat keskusteluaan Tuominiemen kanssa.

Ehdimme kuitenkin ajoissa Ranskan puolella sijaitsevalle CMS-koeasemalle. **Jaakko Härkönen** esitteli opiskelijoille koeaseman valtavia laitteita. Ihastusta opiskelijoiden keskuudessa herätti myös Jaakko Härkösen oma ”hiukkaskiihdytin”, urheilubemari, jonka kyytiin muutama opiskelija pääsi, kun tilattu bussi oli liian pieni.

Toisena päivänä

Syksy **Räsänen** luennoi aineen rakenteen standardimallista ja kosmologiasta. Opiskelijat tunnistivat Syksyn jo Cernin bussissa ja menivät keskustelemaan hänen kanssaan. Syksyn luento loi läpileikkauksen maailmankaikkeuden ja aineen pienimpien osien yhteydestä. Varsinkin tytöt olivat haltioituneita Syksyn luennosta (”Syksy oli niin iihana.”)

Tutustuimme ATLAS-koeasemaan maan uumenissa **Miikka Kotamäen** ja **Maarit Whiten** opastuksella. Maan uumenissa toteutettavan rakennushankkeen massiivisuus mykisti.

Vierailun jälkeen opiskelijat tutustuivat Microcosmos-näyttelyyn, joka kertoi Cernin toiminnasta. Hyvin valmistautuneet opiskelijat kokivat näyttelyn hieman turhaksi lukuun ottamatta videota, joka esitteli Carlo Rubbian tutkimustyötä Cernissä.

Kolmantena päivänä

Aamalla tutustuimme **Jukka Klemin** johdolla Grid-projektiin sekä Cernin tietokonekeskukseen. Mittaustulosten tallentaminen edellyttää valtavaa tiedon tallennuskapasiteettia Higgsin hiukkasta etsittäessä: yksi tapatuma/1013 havaitusta tapahtumasta. Dataa syntyy 10 petatavua vuodessa, joka vastaa 20 miljoonaa cd-levyä.



Helsingin Suomalaisen Yhteiskoulun ja Järvenpään lukion opiskelijat vierailivat Cernissä syksyllä 2006. Yhteiskuva on otettu Microcosmoksen edustalla; kuvassa matkalaiset ovat kerääntyneet vanhan kuplakammion eteen.

Michael Doser johdatteli opiskelijat antimateriaan saloihin sekä esitteli koeaseman, jossa antimateriaa tuotettiin. Mieleenpainuvan esityksen lisäksi Doser oli englanninopettajan unelma: erinomaisella englannin kielellä pidetty esitelmä oli kuullun ymmärtämisen harjoittelua parhaimmillaan mielenkiintoisesta aiheesta. Opiskelijat olivat erittäin tyytyväisiä englanninkieliseen luentoon.

Leirikoulu päättyi vierailuun YK:ssa. Opa oli erityisen hyvä, sillä hän kyseli jatkuvasti opiskelijoilta YK:hon liittyviä asioita ja oli vuorovaikutuksessa ryhmän kanssa.

Takaisin kotiin

Paluumatkalla lentokoneessa ryhmä kasaantui katselemaan ”läppäriin” ääreen valokuvia keskustellen aktiivisesti Cernin tapahtumista. Ryhmän keskustelun aihepiiri herätti vieressäni istuvan henkilön huomion, ja hän kysyi ”Mitä opiskelijoita olemme?” Kerroin lukiolaisten leirikoulusta Cernissä. Vieressäni istunut kansainvälisen suuryrityksen henkilöstökouluttaja ihmetteli ryhmän aktiivisuutta. Ryhmä oli vapaalla ja jatkoi silti keskustelua leirikoulussa oppimastaan. Totesin hänelle, että tässä on eräänlainen käytännön esimerkki fysiikan opettamisesta ja Newtonin laesta:

1. Innostumisen aiheuttaa aina jokin vuorovaikutus.
2. Kun innostut, niin mikään ei voi innostusta pysäyttää.
3. Innostumisen mielihyvä aiheuttaa aina vastareaktion henkilöissä, jotka eivät ole mukana vuorovaikutuksessa: ”Ei fyssa voi noin kivaa olla.”

Lukijalle: Mikä Newtonin laki kussakin tilanteessa kuvaa ilmiötä?

Vieressäni istunut henkilö totesi, että omana kouluaikana fysiikan opetus oli pelkkää kaavojen kopiointia taululta. Kaavat opeteltiin ulkoa koetta varten ja niillä laskettiin, mutta ei tiedetty mitä laskettiin.

Opiskelijapalaute

Kysyttäessä mitä leirikoulussa voisi tehdä toisin, osa opiskelijoista oli sitä mieltä, että vähempikin valmistautuminen olisi riittänyt. Ei olisi tarvinnut tietää ihan kaikkea etukäteen. Tällöin jää ”uutuuden viehätyks” uudesta asiasta kokematta. Toisaalta perusasiat on hallittava, jotta ymmärtää, mistä on kyse. Leirikoulun opetuksen taso on juuri sopiva opiskelijoiden tasoon nähden ja asiat ymmärtää hyvin. Erityisen arvokasta oli se, että juuri huippuasiantuntija kertoo ja johdattelee ilmiön ja asian ytimeen ja että asian voi ymmärtää aiemmin opitun perusteella. Leirikoulun jälkeen on oikean käden säännölle löytynyt merkitys miten sitä sovelletaan varattuja hiukkasia ohjattaessa.

Luentojen taso tuntui sopivalta lukiolaiselle ja luentoja pystyi seuraamaan hyvin. Luennoilla ei ollut liikaa kaavoja. Erityisen tyytyväisiä opiskelijat olivat uusista tuttavuuksista ja muutamat ryhmän jäsenet ovat olleet yhteydessä keskenään leirikoulun jälkeenkin.

Järvenpään lukion fysiikan kurssivalikoimaan on lisätty CERN-kurssi, jonka suorittaneilla opiskelijoilla on mahdollisuus päästä leirikouluun Cerniin, mikäli koulumme valitaan leirikouluohjelmaan. CERN-kurssilla hyödynnetään ennestään tuotettua oppimateriaalia sekä Cernin verkkomateriaalia.

Suurkiitokset Riitta Rinta-Filppulalle mielenkiintoisen koulutuksen järjestämisestä!

Oman lukion tiedeopinnoista seutukunnalliseksi yhteistyöprojektiksi

SEITSEMÄN VUODEN PROSESSI

Liisa Hyvärinen osallistui kesällä 2000 Cernin järjestämään kolmen viikon mittaiseen kansainväliseen fysiikan opettajien koulutukseen. Siitä alkaen hän on kehittänyt Pyhäjoen lukion Cern-tiedeprojektia sekä oman koulun että seutukunnan opettajien kanssa. Pyhäjoen lukio on ollut oivallinen ympäristö kokeilla uusia yhteistyömuotoja ja opiskelumenetelmiä.

Teksti **Liisa Hyvärinen**

Kuvat **Pyhäjoen lukio**

Pyhäjoen lukion kulttuuriin ovat kuuluneet opintomatkat ulkomaille jo vuodesta 1989 alkaen. Alussa opintomatkojen sisällöt liittyivät äidinkielen, historian, yhteiskuntaopin ja kuvataiteen kursseihin: opiskelijat kävivät konserteissa, teatteriesityksissä sekä museoissa. Matkaan valmistauduttiin ennakkoon huolellisesti lukuvuoden aikana ja antia työstettiin ulkomaanopintojen jälkeen. Opiskelijat esittelivät näkemyksensä koko koululle. Näin syntyivät niin sanotut ”työnäytepäivät”, joissa oppiminen pyrittiin tekemään kaikille näkyväksi.

Pyhäjoen lukio on yrittäjäyylukio, jossa opiskelijat voivat perustaa omia yrityksiä ja hankkia siten rahaa. Toisen lukuvuoden opiskelijat ovat järjestäneet vuosittain paikkakunnan syysmessut, jonne alueen yrittäjät voivat tulla esittelemään yritystään ja myymään tuotteitaan. Messuilla on yleensä toista tuhatta kävijää. Messutuotoilla Pyhäjoen lukiolaiset ovat rahoittaneet opintomatkinsa.

Pyhäjoen lukio on myös medialukio. Lukiolaiset toimittavat ja taittavat Pyhäjoen

Kuulumiset -paikallislehteä; se ilmestyy kerran viikossa ja jaetaan ilmaisjakeluna jokaiseen pyhäjokiseen talouteen. Äidinkielen kursseilla opiskelijat harjoittelevat kirjoittamaan lehtijuttuja ja toimittamaan lehteä. Tietotekniikan kursseilla opiskelijat opettelevat tahtamaan lehden ja lähettämään sen kirjapainoon. Lehteen voi tutustua osoitteessa: <http://kuulumiset.pyhajoki.fi/>

Tiedeprojekti Pyhäjoen lukioon

Vuoden 2000 alussa projektipäällikkö **Riitta Rinta-Filppula** Cernistä lähetti LUMA-opettajille sähköpostiviestin, jossa tarjottiin järjestelyapua lukiolaisten opintomatkoihin Cernin hiukkasfysiikan tutkimuslaitokseen. Kerroin viestistä rehtorillemme **Pekka Viitaselle**, joka innostui uudesta opintomatkakohteesta ja pyysi heti vastaamaan viestiin. Yllätyin rehtorin kannustuksesta lähteä Cerniin ja koin tehtävän haastavaksi. Vastasin Riitta Rinta-Filppulan viestiin myönteisesti ja aloitimme yhdessä fysiikan opettaja **Tauno Rajaniemen** kanssa tieteellisen opintomatkan suunnittelun

Pyhäjoen lukiossa.

Modernin fysiikan kurssi siirrettiin abivuodesta toisen vuosiluokan kevääseen, jolloin opintomatka oli tarkoitus toteuttaa. Modernin fysiikan kurssiin sisällytettiin opiskelijoiden valmentaminen tutkimuslaitosvierailuun. Vuoden 2001 huhtikuussa toteutettiin Pyhäjoen lukiossa ensimmäinen tieteellinen opintomatka Cerniin, jossa tiedemiehet johdattelivat opiskelijat luonnontieteiden kiehtovaan maailmaan. Opiskelijat kohtasivat uusimmat tieteen tutkimusongelmat ja saivat kokea, ettei luonnontieteissä tiedetä vielä läheskään kaikkea. Tämä olikin uutta, sillä koulukurssien perusteella voi helposti ajatella, ettei tieteessä ole enää mitään keksittävää. Matkan jälkeen opiskelijat esittelivät innostuneina oppimaansa koko koululle. Siitä alkoi Pyhäjoen lukion tieteen opetusprojekti.

Yhteistyötä omassa koulussa

Alusta alkaen pidettiin tärkeänä, että tiedeopetuksen tukena on myös muita oppiaineita. Vuonna 2001 filosofian kurssilla fysiikan opiskelijat perehtyivät luonnontieteen tutkimukseen 1900-luvulla ja tietämisen ongelmaan. Näin filosofian kurssilta saatiin lisäresursseja fysiikan opiskeluun. Tiedeopetukseen sisällytettiin myös tekniikkaa: opintomatkalla kerättiin digitaalista materiaalia, esimerkiksi videoita ja kuvia, joista koottiin matkan jälkeen CD.

Seuraavana vuonna aloitettiin yhteistyö äidinkielen opettaja **Sari Rintamäen** kanssa. Opiskelijoille annettiin luettavaksi tieteellisiä kirjoja, joita analysoitiin äidinkielen kurssilla. Opiskelijoita ohjattiin kirjoittamaan tieteellisiä artikkeleita, joita julkaistiin paikallislehdissä. Äidinkielen opettaja ohjasi opiskelijoita myös haastattelemaan tutkijoita ja kirjoittamaan niiden pohjalta henkilökuvia ja Cernin toiminnasta ja tutkimuksesta kertovia artikkeleita, joista koottiin oma Cern-lehti. Näin opiskelijat saivat elävän ja mielenkiintoisen kosketuksen tieteeseen.





Ylhäällä. Vuonna 2005 Kari Rummukaisen luento standardimallista ja kosmologiasta lähetettiin reaaliaikaisena myös Pyhäjoen lukiolle. Lukiolla opiskelijat seurasivat luentoa ja esittivät luennoitsijalle kysymyksiä. Takana myös lehtori Liisa Hyvärinen.

Viereinen sivu. Raahen Ratolin opiskelija Petri Kaukua haastattelemassa Cernin kokeellisen fysiikan osaston varajohtajaa Michael Doseria.

Kaikki Pyhäjoen lukion tiedelehdet löytyvät verkosta osoitteesta: <http://lukio.pyhajoki.fi/cern/>

Alueellista verkottumista

Innostuneina onnistuneesta tiedekursista ja opintomatkaista ryhdyimme lehtori Taunon Rajaniemen kanssa suunnittelemaan yhteistyötä Raahen lukion kanssa. Seuraavien vuosien aikana Pyhäjoen lukion Cernin tiedeopetuksesta kehittyi seutukunnallinen yhteistyöprojekti, johon tuli mukaan lukioiden lisäksi Pyhäjoen yläaste ja Raahen ammattikorkeakoulu. Keväällä 2004 Riitta

Rinta-Filppula kysyi, olisimmeko kiinnostuneita tekemään Cern-tiedeopetuksesta verkkomateriaalia lukioiden tiedeopetuksen tueksi. Tämä oli niin haastava tehtävä, etteivät meidän resurssimme olisi riittäneet sen toteuttamiseen. Sen vuoksi aloitimme yhdessä Raahen ammattikorkeakoulun, Ratolin, kanssa suunnittelemaan tiedeopetuksen verkkomateriaalia, jonka tuotantoon Opetushallitus myönsi avustusta. Opetusmateriaaliin voi tutustua osoitteesta: <http://www.ratol.fi/cern/> Teimme yhteisestä projektistamme Ratolin kanssa Kvantti -julkaisun, joka on myös sähköisessä muodossa osoitteesta: <http://lukio.pyhajoki.fi/cern/>

Raahen Ratolilla on monipuolinen fysiikan laboratorio, johon pääsimme tutustumaan yhteistyöprojektin aikana. Pyhäjoen fysiikan opiskelijat ovat saaneet tehdä Ratolin laboratoriossa modernin fysiikan kurssiin liittyviä mittaustöitä, joista on tehty myös työselostukset. Näin fysiikan opiskelussa on voitu käyttää monipuolisia mittaustöitä, joita pieneen lukioon ei ole mahdollista hankkia.

Tiedeopetusprojektit eri koulujen kanssa ovat olleet hyvin antoisia. Jokaisessa projektissa olemme oppineet toisiltamme uusia asioita. Samalla olemme jakaneet

omaa osaamistamme Cern-tiedeopiskelun toteutuksesta. Keväällä 2007 teimme Cern-projektin Oulun Suomalaisen Yhteiskoulun lukion ja Merikosken lukion kanssa. Heidän kanssaan vierailimme ennen Cern-matkaa Oulun yliopistossa fysiikan laitoksella ja teknillisessä tiedekunnassa. Fysiikan opiskelijoille esiteltiin kiinnostavasti nykypäivän tiedettä ja kerrottiin jopa mahdollisuudesta päästä harjoittelutyöpaikkaan fysiikan laitokselle heti ylioppilaskirjoitusten jälkeen.

Kaikilla Cern-matkoillamme olemme kokoontuneet iltaisin työskentelemään yhdessä. Olemme kirjoitelleet lehtijuttuja ja tehneet koulutehtäviä. Matkalaisethan ovat pois omien kurssien oppitunneilta, jolloin tekemistä löytyy varmasti kaikille. Iltatyöskentely on ollut myös mukavaa yhdessäoloa, jossa eri koulujen opiskelijat tutustuvat toisiinsa. Cernissä olemme kokoontuneet joko Cafeteriaan tai johonkin luentosaliin ja Geneven hostellissa ala-aulan työskentelytilaan.

Teknologia mukana tiedekursseilla

Pyhäjoen lukiolaisilla on ollut Cernissä aina mukanaan kannettavia tietokoneita, jotka



Ylhäällä. Pyhäjokisten järjestämällä opintomatkoiilla työskennellään myös iltaisin; kuvassa opiskelijat harjoittelevat integraalilaskentaa keväällä 2006. Ohjaajana Tauno Rajaniemi.

on voitu liittää Cernin verkkoon. Näin olemme voineet joustavasti pitää yhteyksiä omaan kouluun myös matkan aikana. Opiskelijat ovat kirjoittaneet lehtiartikkeleita ja niitä on lähetetty paikallislehtiin jo Cernissä. Näin juttuja on julkaistu lehdissä jo ennen kuin opiskelijat ovat palanneet kotiin matkaltaan.

Keväällä 2005 onnistuimme luomaan reaaliaikaisen yhteyden Cernin luennolta Pyhäjoen lukiolle, jossa kiinnostuneet opiskelijat saattoivat seurata professori **Kari Rummukaisen** luentoa ja esittää hänelle kysymyksiä. Yhteys toteutettiin kannettavaan tietokoneeseen yhdistetyn videokameran sekä Messenger- ja Skype-ohjelmien avulla. Keväällä 2007 Oulun Suomalaisen Yhteiskoulun lukion opettajat innostuivat kokeilemaan samaa Messenger-ohjelmalla. Opiskelijat Oulussa saattoivat seurata **Michael Doserin** luentoa antimateriaalista ja sen sovelluksista omassa koulussaan.

Keväällä 2006 Tauno Rajaniemi ja Pyhäjoen yläasteen opettaja **Timo Silvola** lähettivät tiedeluennot reaaliaikaisena nettiv-lähettyksenä Pyhäjoen lukion palvelimelle. Ne löytyvät myös tallenteina osoitteesta: <http://lukio.pyhajoki.fi/media/>

Majoitusvaihtoehtoja Cern-matkalla

Opintomatkoiillamme olemme majoittuneet pääasiassa Cernin hostelliin, joka on mielestämme paras vaihtoehto. Tiedeluennoille on helppo tulla, kun ei tarvitse kulkea busseilla. Cernissä on ollut hyviä kokoontumistiloja iltaisin ja Cafeteriassa on edullista ruokaa myöhäiseen iltaan saakka. Siellä olemme voineet käyttää myös Internetiä omilla tietokoneillamme koko illan, jolloin iltatyöskentely on voinut olla monipuolista.

Aina ei kuitenkaan voi päästä Cernin hostelliin. Silloin vaihtoehdoksi jää Geneven nuorisohostelli, joka sijaitsee Geneven keskustassa. Sieltä Cerniin on noin puolen tunnin bussimatka. Geneven hostellista saimme kaikille sinne majoittuneille ilman erillistä maksua bussilipun, jolla saattoi matkustaa Geneven alueella kaikilla bus-

seilla ja raitsikoilla. Se oli oivallinen etu opiskelijoillemme. Mikäli hostelli ei tarjoa bussilippua ilmoittautumisen yhteydessä, niin sitä kannattaa ainakin kysyä.

Seitsemän vuotta Higgsin hiukkasen perässä

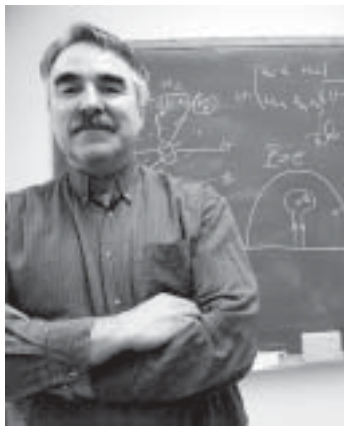
Pyhäjoen lukion opiskelijoita on vieraillut Cernissä joka kevät seitsemän vuoden ajan. Olemme kehittäneet Cern-tiedeprojektiamme joka vuosi. Mukaan on tullut uusia kouluja ja olemme kokeilleet monenlaisia yhteistyötapoja. Kaikkien kanssa olemme oppineet toisiltamme paljon ja meille on syntynyt hyvä alueellinen yhteistyöverkko.

Cernissä olemme saaneet nähdä, miten LHC-kiihdyttimen rakentaminen on edistynyt ja tuntee sen valtavan innostuksen, mikä Cernin tutkijoilla on maailmankaikeuden perimmäisten kysymysten ratkaisemisessa. Siitä innostuksesta on tarttunut jotain opiskelijoihimmekin, mutta ennen kaikkea opettajiin. Seuraamme kiinnostuneina tutkimuksen edistymistä: mahtaakohan uudella kiihdyttimellä löytyä kauan etsitty Higgsin hiukkanen?

LHC VIE UUTEEN MAAILMAAN

Cernin uusi hiukkaskiihdytin LHC eli Large Hadron Collider aloittaa pian toimintansa. Se on kuin nykyajan Santa Maria, jolla tiede purjehtii kuin Kolumbus aikoinaan kohti tuntematonta maailmaa, kohti hiukkasfysiikan standardimallin valkoisia alueita. Ehkä – tai paremminkin toivottavasti – matkalta löytyy myös kokonaan uutta fysiikkaa.

Teksti **Jukka Maalampi**



JUHA RYHÄNEN

LHC pääsee tunkeutumaan pitemmälle aineen rakenteen yksityiskohtiin kuin aiemmat ihmisen käyttämät mittalaitteet. Sillä saadaan hiukkasille energia, joka on seitsemänkertainen verrattuna tämän hetken parhaimmalla kiihdyttimellä Fermilabin Tevatronilla saatavaan energiaan. Hiukkaskiihdytin on kuin mikroskooppi, ja sillä näkee sitä tarkemmin, mitä suuremman energian hiukkaset siinä saavat. LHC:lla tullaan erottamaan tuhansia kertoja protonia pienempiä yksityiskohtia. Suuri energia on myös tarpeen raskaiden hiukkasten tuottamiseen, sillä syntyvien hiukkasten sisäinen energia, siis massa, on peräisin kiihdytettyjen ja toisiinsa törmäävien hiukkasten liike-energiasta kaavan $E=mc^2$ mukaisesti.

Hiukkasfysiikan standardimallia on testattu lukemattomissa kokeissa jo yli kolmenkymmenen vuoden ajan. Tämän tiedon ja teoreettisten pohdintojen tuloksena on syntynyt kuva siitä maailmasta, johon LHC:n avulla ollaan matkalla. Ensimmäisenä taitavaanrantaan odotetaan ilmestyvän Higgsin hiukkaseen, joka liittyy standardimallin selitykseen hiukkasten massan alkuperästä. Fysikot kuvaavat hiukkasia kenttien avulla. Yleisen lain mukaan luonnossa kaikki pyrkii perustilaan, jossa energia on pienimmillään. Perustilalla hiukkasten kentät yleensä häviävät, mutta Higgsin kenttä on poikkeus tästä säännöstä. Standardimallin mukaan

Higgsin hiukkaseen liittyvän kentän energia ei suinkaan ole pienimmillään silloin, kun kenttää ei ole vaan silloin, kun kentällä on tietty nollasta poikkeava arvo. Tämä avaruuden täyttävä Higgsin kenttä ilmenee hiukkasten massoina.

Jos LHC ei paljasta Higgsin hiukkasta, standardimallin kartta joudutaan piirtämään tältä kohtaa kokonaan uudelleen. Ennen kuin näin tehdään, pitää kuitenkin odottaa seuraavan löytöretken tuloksia. Se retki tullaan tekemään uuden sukupolven lineaarikiihdyttimellä ILC (International Linear Collider), jota jo suunnitellaan. LHC ei nimittäin kykene kartoittamaan koko sitä aluetta, jossa Higgsin hiukkanen voisi sijaita. ILC täydentää tarvittaessa sen työn.

VOI MYÖS KÄYDÄ NIIN, ETTÄ YHDEN Higgsin hiukkaseen sijasta löydetään kokonainen Higgsin hiukkasten saaristo. Tämä voisi olla osoitus siitä, että luontoon on kätkeytynä toistaiseksi tuntematon säännönmukaisuus, ns. supersymmetria. Toistaiseksi tuntemillamme hiukkasialla on selkeä työnjako: fermionit eli leptonit ja kvarkit ovat ainehiukkasia ja bosonit ovat näiden ainehiukkasten välisten vuorovaikutuksien välittäjiä. Supersymmetria tasapainottaa tämän tehtäväjaon; sen mukaan on olemassa esimerkiksi elektronin tapaisia voiman välittäjiä ja fotonin tapaisia ainehiukkasia. Supersymmetria ennustaa, että Higgsin hiukkasia ei olisikaan yksi vaan viisi erilaista.

Supersymmetria tarjoasi myös selityksen yhdelle fysiikan suurimmista mysteereistä, pimeälle aineelle. Kosmologit ovat saaneet

selville, että maailmankaikkeuden kaikista energiasta vain neljä prosenttia on tavallista ainetta. Huomattavasti enemmän, noin 25%, on pimeää ainetta (loppu on pimeää energiaa, joka sekkin on suuri mysteeri). Pimeä aine voisi koostua sähköisesti neutraaleista supersymmetrian ennustamista hiukkasista, neutraliinoista. Ne ovat kevyimpiä supersymmetria hiukkasia, ja niiden oletetaan olevan hajoamattomia. Synnytyään maailmankaikkeuden heikisissä alkuehkeissä, ne ovat olleet aina olemassa ja ovat kerääntyneet tiheiksi tavallisesta aineesta koostuvien galaksien ympäristöön. Niitä ei siellä näy, koska ne eivät vuorovaikuta sähkömagneettisesti eivätkä siksi lähetä valoa tai muuta sähkömagneettista säteilyä. Näitä hiukkasia voisi syntyä ja niitä voitaisiin tutkia LHC:ssä, samoin kuin muitakin supersymmetrian ennustamia hiukkasia.

TEORETTISET HIUKKASFYSIKOT ovat leikitelleet jo pitempään ajatuksella, että maailmamme ei olekaan neliluotteinen vaan kymmenen- tai yksitoistaluotteinen. Ns. supersäieteoriat suorataan vaativat tätä. Ylimääräiset ulottuvuudet oletetaan niin pieniksi, etteivät ne olisi paljastaneet olemassaoloaan tähänastisissa kokeissa – puhumattakaan, että ihminen näkisi ne omin silmin. LHC:ssä ne saattaisivat paljastua sitä kautta, että hiukkasten väliset voimat eivät ilmenisi täydellä teholla vaan osa tehosta hukkuisi ylimääräisiin ulottuvuuksiin. Teoreetikon mielestä viitteet tällaisesta olisi varsinainen eldorado, sillä supersäieteoria on suuria toiveita herättänyt yritys gravitaation ja muiden luonnon perusvoimien yhdistämiseksi eli ehdokas ”kaiken teoriaksi”.

Jos LHC ei paljasta Higgsin hiukkasta, standardimallin kartta joudutaan piirtämään tältä kohtaa kokonaan uudelleen. Ennen kuin näin tehdään, pitää kuitenkin odottaa seuraavan löytöretken tuloksia. Se tehdään uuden sukupolven lineaarikiihdyttimellä, jota jo suunnitellaan.

FYSIIKKA ON HUIPPUA!

Hämeenlinnan seudulla toimiva lukioiden alueverkko vie fysiikan opiskelijoita hiukkasfysiikan keskuksen, Cerniin Sveitsiin, kahden vuoden välein. Opintomatkoja on takana jo kolme ja neljännen pohjustustyöt ovat käynnissä. Näin laajamittaisen, toistuvan projektin vetäminen vaatii opettajalta monialaisuutta, yhteistyökykyä ja sitoutumista, suorastaan sydämen paloa. Kaurialan lukion fysiikan lehtori Sirkku Haapala kertoo, miten lukiolaisten Cern-kurssit Hämeenlinnassa saivat alkunsa, millaisia ponnisteluja vierailujen järjestäminen vaatii sekä paljastaa projektin oheistyön laajamittaisuuden, työllistävyyden – ja palkitsevuuden.

Teksti ja kuvat **Sirkku Haapala**

Hämeenlinnan seudun lukioiden alueverkkoon kuuluvat Hämeenlinnan kaupungin kaikki kolme lukiota sekä naapurikunnasta Janakkalasta Tervakosken lukio. Verkottumisidea sai alkunsa Kaurialan lukion rehtorin esiteltyä asiaa muille rehtoreille; ensimmäinen hakemus Cernin tiedekouluun tehtiin lukiomme nimissä v. 2002. Sitten kevään aikana kiersin lukioissa esittelemässä opiskelijoille Cerniä, tiedekoulua ja syksyllä alkavaa projektia. Siitä lähtien olen ollut näissä hankkeissa projektivastaavana.

Cern-projektin sovittiin toteutuvan joka toinen vuosi ja se on nyt toteutettu kolme kertaa. Tervakosken lukion lehtori **Esa Rintakumpu** on ollut yhteistyökumppanini kaikkina kertoina, muut osallistuvat opettajat ovat vaihdelleet. Olemme halunneet antaa myös muille matemaattisten aineiden opettajille mahdollisuuden tutustua Cerniin, joten opettajajäsenenä on matkalla mukana ollut myös matemaatikkoja ja

kemistejä, kaikkiaan yhdeksän opettajaa neljästä lukiosta.

Alueverkolla on iso merkitys opettajien ja eri lukioiden välisen yhteistyön lisäämisessä. Yhteisessä projektissa tutuksi ja ystävälliseksi tulleelle kollegalle on helppo pirauttaa apua tarvittaessa, mielipidettä kaivatessaan tai vain halutessaan vaihtaa kuulumisia. Ilahduttavaa on, että alueverkko saattaa laajentua, sillä viidenneksi mukaan on tulossa, tulevista virkajärjestelyistä riippuen, Parolan lukio.

Järjestelyistä ja rahoituksesta

Vetovastuu on koko ajan ollut Kaurialan lukiolla. Koulu kustantaa kolme kurssia, ylimääräisen FY8-kurssin jaksossa 1 ja minulle vetäjänä 2 kurssia.

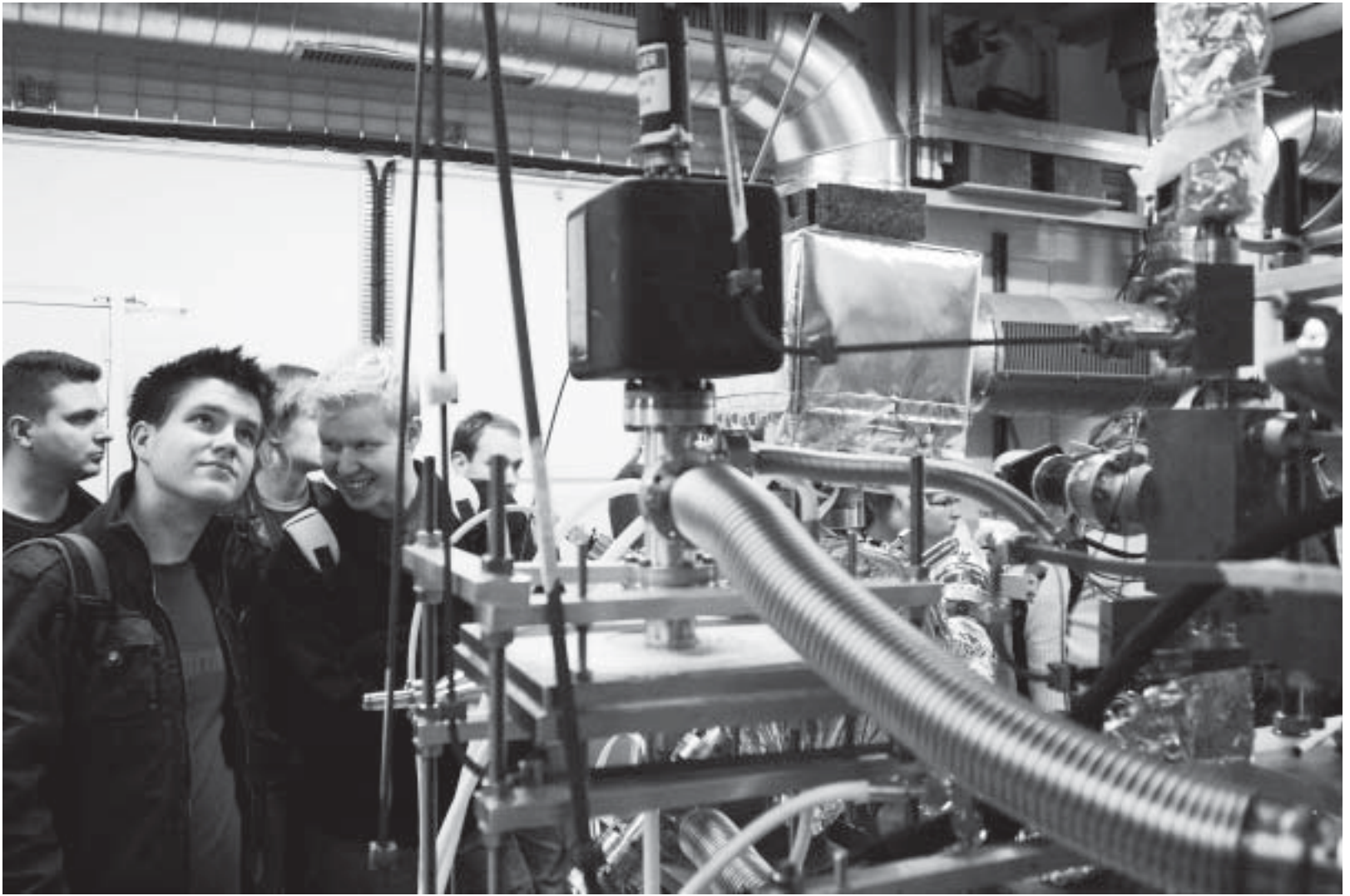
Se tarkoittaa, että projektivastaavana hoidan kaikki käytännön järjestelyt: ilta-palaverit ohjelmineen ja kahvituksineen, tutkielmien tarkistukset, vierailujen järjestäminen, bussikuljetusten, lentolippujen ja

majoitusten varaamiset sekä yhteydenpidon Cerniin, **Riitta Rinta-Filppulaan** ja **Tuija Karppiseen**. Toimintojen ajankohdista neuvottelen tietysti muiden opettajajäsentien kanssa, ja jokainen opettaja ”antaa kaikkensa” raha-avustusten saamiseksi. Kokoon saatu rahasumma on ollut joka kerralla huomattava, noin 10 000 € - 14 000 €. Kukin opiskelija saa matka-apurahaa omalta koulultaan 100 €. Lisäksi yritämme saada jokaisen lukion yhteistyötahoja ja jokaisen opiskelijan kotikuntaa sekä kotikunnan yhdistyksiä avustamaan ryhmää tai yksittäistä opiskelijaa. Kaikki saadut avustukset ohjataan Hämeenlinnan kaupungin Cern-tiliöinti -tilille ja ne jaetaan tasan kaikkien, niin opiskelijoiden kuin opettajien kesken. Poikkeuksena ovat olleet matematiikan ja kemian opettajat, jotka ovat itse maksaneet matkansa. Avustuksia olemme saaneet kouluilta, kunnilta, säätiöiltä, yhdistyksiltä sekä rahastoilta, sen sijaan yritysten tuki on ollut aika minimaalista. Koulujen verkottuminen on ehdottomasti ollut edistävää asia raha-avustusten saamisessa.

Oppilasvalinnoista

Cern-kurssien toteutus on ollut samantyylinen kaikkina kertoina. Tammi-helmikuussa pidämme jokaisessa lukiossa infotilaisuuksia Cernistä ja tiedekouluhankkeesta. Mukaan pääsevien opiskelijoiden lukumäärät eri lukioista on pyritty suhteuttamaan koulujen oppilasmääriin. Monista halukkaista joudutaan karsimaan mukaan mahtuvat; valinnat tehdään pääasiassa fysiikassa menestymisen perusteella. Osallistujat ovat tiedekoulun aikaan abiturientteja, viime vuoden muutamaa kakkosvuoden tiedelinjalaista lukuun ottamatta. Koska jo ennen tiedekoulua tutustumme toisiimme monissa eri yhteyksissä, on matkalla ollut lukiolaisia myös ilman oman koulun opettajaa, eikä





📖 **Ylhäällä.** Cernin CLIC-asemaa tutkimassa mm. Jussi Lahtinen (vas.) ja Lauri Orkoneva (Kaurialan lukio).

📖 **Viereinen sivu.** Viksu-kilpailussa menestyneitä Kaurialan lukion opiskelijoita v. 2005. Edessä Pekka Kallionpää ja Teemu Hurjanen, takana Kirsi Jalkanen, Tommi Alanne, Arno Karppinen ja Tuomas Lehtonen. Kuvasta puuttuu Johanna Uhari.

siitä ole ollut ongelmia opiskelijoiden ryhmäytymiselle eikä minulle vetäjänä.

Kevään valmistautumisesta

Maaliskuun puolivälissä teemme ensimmäisen tutustumismatkamme Helsingin yliopiston kiihdytinlaboratorioon Kumpulaan. Laboratorion ja siellä tehtävän tutkimuksen esittelyn lisäksi päivään kuuluu luento hiukkasfysiikasta sekä tutustuminen TKK:hon. Tunnelma ensimmäisen vierailun jälkeen on innostunut; opiskelijoiden mielikuvat tutkijoista ja heidän työstään ovat avartuneet – tutkija ei olekaan vain hajamielinen kammiossaan ahertava

vanhus – ja me fyysikot olemme päässeet hauskojen joukkoon!

Keväällä alkavat myös iltapalaverimme Kaurialan lukion tiloissa. Osallistumisprosentti on ollut lähes sata. Heti ensimmäisellä kerralla jaetaan tutkielmien aiheet ja ohjeet niiden laatimiseen (VIKSUn ohjeet). Tutustumme yhdessä tärkeisiin internet-sivustoihin. Opiskelijoille annetaan luettaviksi ja kierrätettäväksi englanninkielisiä hiukkasfysiikan kirjoja. Iltatapaamiset kestävät kahdesta yli kolmeenkin tuntiin, ja niitä on kevennetty kahvituksella. Yhteen kevään tilaisuuksista kutsumme myös vanhemmat, jotta heillekin heti alusta alkaen välittyvä tieto Cernistä ja tulevista tekemisistämme. Kesällä tutkielmat edistyvät omatoimisesti enemmän tai vähemmän. Toisilla on syksyllä koulun alkaessa valmiina jäsenely ja kirjoitettu tutkielma. Tiedelinjalaiset ovat tutkielman lisäksi joutuneet itsenäisesti perehtymään sähkö- ja magneettikenttiin.

Syksyn ohjelmasta

Syyslukukausi aloitetaan vierailulla Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratorioon luentoineen sekä nanoteknologian laitokseen.

Bussikulujen minimoimiseksi mukana on muitakin opiskelijoita tutustumassa kemian, biologian tai liikunnan opintoihin. Iltatapaamisissa katsotaan mahdollisimman monta Cernin netissä olevaa videoluentoa ja niiden lisäksi muitakin videoita hiukkasfysiikasta, esim. säieteoriasta, sekä Cernistä ostettuja videoita. Ryhmäytymistämme edistää kovasti myös jo ensimmäisessä jaksossa opiskeltava modernin fysiikan kurssi. Hämeenlinnan projektitalaisille kurssi järjestetään yhteisesti Kaurialan lukiossa (aamutunneilla), ja koko kurssi on opiskeltu ennen tiedekouluun lähtöä.

Opiskelijat kirjoittavat ja parantelevat tutkielmiaan ja syyskuun puolivälissä he jättävät ne minulle tarkistettaviksi. Teen korjausehdotuksia, joiden toteutukseen on aikaa pari viikkoa, sillä tutkielmien tulee olla valmiit ennen Cerniin lähtöä. Tutustumme myös Kanta-Hämeen keskussairaalan kliinisen fysiologian osastoon sairaalafysiikko **Keijo Saalin** opastuksella. Näin lääketieteellinen hiukkasfysiikka valottuu ja aiheesta tutkielmaa tekevät saavat kyselemällä sellaista tietoa, jota en itse pysty antamaan. Matkaa edeltävällä viikolla on toinen tapaamisemme vanhempien kanssa. He saavat tarkentunutta

tietoa matkustamisista, majoituksesta, aikatauluista ja tiedekoulun sisällöstä.

Cernissä!

Projektin huippuhetki, matka Sveitsiin, ajoittuu syyslomaan. Tärkein osa on kolmipäiväinen tiedekoulu Cernissä, jossa luentojen kuuntelemisen lisäksi pääsemme myös haastattelemaan niin suomalaisia kuin muitakin tutkijoita. Vierailut YK:n Geneven päämajaan, Punaisen Ristin museoon, Philip Patekin kellomuseoon ja Geneven yliopiston fysiikan laitokselle kuuluvat kansainvälisen projektimme ohjelmaan. Perinteeksi on muodostunut myös päivä Alpeilla, Chamonix'ssa. Nousu Aiguille du Midin laelle melkein neljän kilometrin korkeuteen on saanut opiskelijat haukkomaan henkeään niin kuvainnollisesti maisemien takia kuin fyysisesti hapen vähyden vuoksi. Oppilaspalautteen mukaan tämä kokemus on pidettävä jatkossakin ohjelmassa.

Jälkityöstä

Matkan jälkeen tapaamme ja vaihtelemme valokuvia. Osa laatii matkakertomuksia raha-avustuksia antaneille yhdistyksille. Viime syksynä yksi tytöissä kävi Leijonien klubi-illassa kertomassa projektista ja Cernistä, lisäksi kaikki osallistuvat lehtikirjoitusten laadintaan. Osa opiskelijoista jaksaa vielä hioa tutkielmiaan ja ne osallistuvat VIKSU-kilpailuun. Sähköposti on tässä verraton apuväline, sillä tapaan toisten koulujen opiskelijat kasvokkain vasta VIKSU-kaavakkeiden täytön yhteydessä.

Muille oppilaille projektista kertominen yhdistetään Kaurialan lukiossa koulumme LUMA- ja teknologiapäivään. Aamupäivällä puolet lukiomme yli 500 opiskelijasta on salitapahtumassa, jossa projektillaiset kertovat projektista sekä Cernistä tutkimuslaitoksena ja esittivät oppilaiden editoiman videon, kun samaan aikaan toinen puoli opiskelijoista on vierailulla jossain teknologiayrityksessä – ja iltapäivällä toisinpäin. Salitapahtuman lisäksi pystytämme koululle myös näyttelyn.

Joulun jälkeen menemme vielä joukolla pizzalle, kertaamme kokemuksia, muistellemme matkan sattumuksia ja arvioimme yhdessä projektin toteutusta.

Vaikutus fysiikan opetukseen

Cern-projektiin mukaan pääseminen motivoi opiskelijoita fysiikan opiskeluun; innostus ja tavoitteellisuus ovat selvästi havaittavissa. Osallistumisestaan projektiin opiskelijat ovat saaneet kaksi fysiikan kurssia S-merkinnällä. VIKSU-kilpailuun lähteneen viimeistellyn tutkielman laatijat ovat saaneet arvosanan 10.



Innostuneet tutkijat ja luennoitsijat, kuvassa Michael Doser (oik.), saavat niin opiskelijat kuin opettajatkin syttymään. Doserista vasemmalle opiskelija Natalia Tolmatsova (Lyseon lukio) ja opettajat Aki Kontturi (Lyseo lukio), Sirkku Haapala (Kaurialan lukio) ja Esa Rintakumpu (Tervakosken lukio)

Cern ja yliopistovierailut ovat joka kerta muuttaneet yhden tai useamman opiskelijan jatko-opintosuunnitelmia. DI-opinnot ovat vaihtuneet fysiikan opintoihin Jyväskylässä nimenomaan hiukkasfysiikan ja kiihdyttimen takia, TKK:lla tekniseen fysiikkaan tai TTY:n teknis-luonnontieteellisellä osastolla fysiikan opiskeluun. Kaiken kaikkiaan Cern-tiedekoulu tukee koulumme matemaattis-luonnontieteellistä painotusta. Se oli yksi tiedelinjan perustamisen kivijalka ja on edelleen yksi kansainvälisyyteen liittyvistä lukiomme projekteista. Cern-kurssit tarjoavat haasteita hakeville kokemuksia tiedemaailmasta ja erilaisia oppimismenetelmiä, itsenäistä opiskelua paljolti www-sivustojen avulla sekä kasvavaa pitkäjänteisyyttä.

Integraatio muihin oppiaineisiin

Kaurialan lukiossa useat oppiaineet ovat integroituneet Cern-projektiin. Kaksi kertaa on lukiossamme järjestetty projektillaisille ranskan pikakurssi ja englannin opettajien apua on saatu englanninkielisen matkakertomuksen laatimiseen sekä kansainväliseen sähköiseen kirjeenvaihtoon. Kotimaan yliopistovierailumme toteutetaan yhdessä muiden aineiden, mm. kemian, biologian ja liikunnan kanssa. Äidinkielen lehtorimme Liisa Virtasen osallistuminen projektiin on ollut kultaakin kalliimpaa. Hänen vastuullaan olivat oman Kvarkki-

lehtemme opiskelijoiden kirjoitelmien hiominen sekä lehden taitto. Viime syksynä ennen matkaa hän piti meille pikakurssin haastattelemisesta ja lehtikirjoituksen laatimisesta. Opiskelijoiden kirjoittamat, Hämeenlinnan Viikkouutisissa julkaistut lehtijutut saivat loppusilauksensa häneltä, samoin tämä kirjoitelma. Edelleen hän on tarkistanut tutkielmien kieliasun ja ohjannut opiskelijoita tutkielman laatimisessa. Hän on myös huolehtinut lehdistötiedotteista saadaksemme projektille julkisuutta.

Cern-projektin näkyvyys

Alueverkko, eli monen lukion mukanaolo ja yhteistyö, on varmasti ollut painavana kriteerinä saada rahallista avustusta eri tahoilta, samoin julkisuutta eri viestintävälineissä. Koulujen mahdollinen kilpailutilanne jää näin taka-alalle.

Ensimmäinen projektimme sai palstatilaa niin Hämeen Sanomissa kuin ilmaisjakelulehdissäkkin. Seuraava projektimme sai julkisuutta oman Kvarkki-lehtemme ansiosta (painos 500). Syksyllä 2006 Hämeenlinnan Viikkouutiset (ilmaisjakelulehti Hämeenlinnan ja seitsemän ympäristökunnan alueella, painos 47 000) julkaisi neliosaisen sarjan Cerniin ja hiukkasfysiikkaan liittyviä haastatteluja. Kolme kertaa olemme olleet Radio Hämeen pienissä haastatteluohjelmissa. ITK-konferenssiin osallistuminen Cern-projektin esittelyllä toi opiskelijoille TV-julkisuuttakin.

ANTIMATTER IN LAYMAN'S TERMS

What is antimatter,
and why should it be of relevance to us?

Written by **Dr Michael Doser**
Photograph **CERN Photo Database**

Antimatter is made up of particles with equal but opposite characteristics of everyday particles of matter. When energy takes on the form of mass, matter and antimatter appear in pairs. Consider this analogy: dig a hole, and make a hill with the earth you've excavated. Hole and hill have equal but opposite characteristics- the volume of the earth in the hill, and that of the hole where the earth was removed. For particles, properties like electrical charge are opposite to their antiparticles-one positive, one negative. Also, antimatter will annihilate its matter counterpart in a burst of energy, just like the hill will fill the hole, leaving neither in the end.

This equal production of matter and antimatter should also have happened in the very first instants of the Universe, and yet, the Universe is almost completely devoid of antimatter. So where did all the antimatter go?

ONE POSSIBLE EXPLANATION COULD be a subtle and unexpected difference in the properties of matter and antimatter, leading to a slight excess of matter which survived the initial cataclysm of matter-antimatter annihilation. Many attempts have been made to search for even the slightest difference in the properties of matter and antimatter. In a series of precision

measurements with charged (anti)particles, no difference down to a precision of one part in ten billion could be detected. In the absence of theoretical guidance, experimenters are trying to increase their sensitivity, in the hope that with sufficient precision, a difference can be detected. Charged particles being extraordinarily sensitive to electric and magnetic fields (and thus also to the inconstant magnetic field of the Earth), the current generation of experiments is attempting to measure the color of the light emitted by atoms and antiatoms, bearing in mind that the only antiatoms one can think of producing are atoms of Antihydrogen. Being neutral, these should be far less sensitive to external electric and magnetic influences than charged particles. The main difficulty of these experiments lies in producing, trapping, cooling and finally studying a handful of atoms of Antihydrogen, all in the hope of seeing a minuscule difference between the light emitted by them and that emitted by ordinary Hydrogen atoms.

Antimatter also has real-life medical applications, such as in positron emission tomography-PET scans, and perhaps even a possible future in the radiation treatment of tumors. But because producing antimatter even in minuscule quantities is very difficult, it will unfortunately never power any future Starship Enterprise.



This equal production of matter and antimatter should also have happened in the very first instants of the Universe, and yet, the Universe is almost completely devoid of antimatter. So where did all the antimatter go?

HIUKKASFYSIIKAN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Aineen perusrakenteen tutkimuksessa eletään tällä hetkellä jännittäviä aikoja. Alkeishiukkasfysiikan tutkijoiden katseet ovat kääntyneet Cerniin, missä ollaan käynnistämässä maailman suurinta hiukkaskiihdytintä.

Teksti **Jorma Tuominiemi**
Kuva **Cernin kuva-arkisto**

LHC on rakennettu selvittämään aineen perusrakenteen tutkimuksen avoimia kysymyksiä. Se on kahden suprajohtavia magneetteja käyttävän synkrotronin muodostama protoni-protoni-törmäytin, jossa kummassakin synkrotronissa protonille annetaan 7 teraelektronivoltin (TeV) energia. Tämä on noin kymmenkertainen nykyisin kiihdytinlaitteistoihin verrattuna. Näin suuri energiahypitys tarvitaan, jotta voitaisiin saavuttaa seuraava merkittävä edistysaskel aineen perusrakenteen selvittämisessä.

Tämänhetkinen ymmärryksemme alkeishiukkasista ja niiden välisistä vuorovaikutuksista perustuu usean vuosikymmenen aikana tehtyyn teoreettiseen ja kokeelliseen tutkimukseen. Tärkeimmät kokeelliset edistysaskeleet on saavutettu Cernin protoni-antiprotoni-törmäyttimellä (1981-89), Cernin LEP-elektroni-positroni-törmäyttimellä (1989-2000) sekä yhdysvaltalaisen Fermion kansallisen laboratorion Tevatron-protoni-antiprotoni-törmäyttimellä (1992-). Kokeellinen tieto ja teoreettiset ideat on koottu matemaattiseksi rakennelmaksi, jota hiukkasfysikot nimittävät aineen perusrakenteen standardimalliksi. Tämän mallin avulla voidaan tällä hetkellä ymmärtää suurin osa laboratoriossa ja maailmankaikeudessa havaituista ilmiöistä suurella tarkkuudella.

LHC-kokeiden haasteet

Tärkeitä avoimia kysymyksiä kuitenkin on. LHC:llä tehtävien kokeiden päätavoitteena on selvittää, mikä mekanismi aiheuttaa sähköisheikon vuorovaikutuksen, niin sanotun spontaanin symmetrian rikkoutumisen ja määrää alkeishiukkasten massat. Suosituin vaihtoehto symmetriarikolle on Higgsin mekanismi, jonka englantilainen **Peter Higgs** ja eräät muut esittivät jo 1960-luvulla, kun standardimallia alettiin rakentaa. Sen mukaan avaruuden täyttää ”Higgsin kenttä”, jonka kanssa kaikki alkeishiukkaset vuorovaikuttavat ja saavat näin massan. Kentän pitäisi ilmentyä sen välittäjähiukkasten avulla, ja näitä Higgsin bosoneja LHC:llä lähdetään

etsimään. Toinen tärkeä LHC-kokeiden tutkimuskohde on, toteutuuko luonnossa teoreettisten fyysikoitten ehdottama supersymmetria, jolla on yhteyksiä säieteorioihin ja painovoiman kvantisointiin. Myös supersymmetrian pitäisi näkyä uusina hiukkasina, joita LHC:llä voidaan havaita.

Standardimalli on edelleen niin sanottu efektiivinen teoria, jossa on vielä parisenkymmentä vapaata parametria, siis fysikaalista suuretta, joita teoria ei ennusta. Niiden arvot on voitu määrittää vain kokeellisin mittauksin. Teoreetikot ovatkin kehittäneet jo pitkään laajempia teoriarakennelmia, joissa kyseiset parametrit seuraavat teorian sisäistä rakenteista ja erilaisista symmetrioista. Samalla nämä teoriat ennustavat myös uusia ilmiöitä, ”uutta fysiikkaa”. Eräs tällainen teoria on juuri supersymmetria. Säieteoriat puolestaan ennustavat muun muassa, että maailmankaikeudessa on useampia avaruuslukuja kuin ne kolme, jotka me aistimme. Kun ne eivät näytä esiintyvän tähän asti havaitsemissamme ilmiöissä, niiden on täytyntä käpertyä pienemmäksi kuin atomiytimien läpimittaksi. Esimerkiksi painovoiman kvantit voivat kuitenkin luiskahtaa niihin, mikä pitäisi voida kokeellisesti havaita. Myös pienen pienten mustien aukkojen syntyminen suurenergisten protonien törmäyksissä on spekuloitu. LHC-kokeissa valmistaudutaan havaitsemaan myös tällaisia ilmiöitä.

LHC-törmäytin

LHC-projektiin päädyttiin vuonna 1996 lähes vuosikymmenen jatkuneen tieteellisen ja teknisen arvioinnin ja tutkimuksen tuloksena. Suprajohtaviin magneetteihin perustuva synkrotronitörmäytin oli tuolloin hallitulla tekniikalla toteutettavissa, ja se voitiin käytettävissä olevien tutkimusmäärärahojen puitteissa suunnitella riittävän tehokkaaksi, jotta Higgsin bosonien ja supersymmetristen hiukkasten olemassaolon pitäisi selvitä. LHC-törmäytin rakennuskustannukset ovat 3 miljardia Sveitsin frangia. Laite rakennetaan Cernin vuosibudjetin puitteissa. Lisäksi Yhdysvallat, Venäjä ja Japani osallistuvat LHC:n rakentamiseen toimittamalla

siihen osia.

LHC on periaatteeltaan klassinen synkrotron, mutta sen rakentamisessa on kaksi suurta teknologista haastetta. Ensimmäinen on riittävän tehokkaiden magneettien valmistus. LHC rakennetaan jo valmiiseen kiihdytintunnelirenkaiseen, LEP-törmäyttimelle 1980-luvulla louhittuun tunneliin (tunneli muodostaa renkaan, jonka ympärysmitta on 27 km), joten protonisuihkujen energia määräytyy siitä, miten tehokkaita magneetteja voidaan rakentaa taivuttamaan protonien ratoja niin, että ne kiertävät tunnelissa synkrotronin tyhjiöputkessa. Käyttämällä tällä hetkellä hallittua suprajohdetekniikkaa (niobium-titaani-metalliseokset) on voitu valmistaa 8 Teslan kentän synnyttäviä dipolimagneetteja, joiden avulla 7 TeV:n protonisuihkut pysyvät kiihdyttimessä.

LHC tulee olemaan maailman suurin suprajohtavassa tilassa oleva laitteisto. Kun suprajohdekaapelit on pidettävä 1,8 Kelvin-asteen lämpötilassa, on jäädytykseen käytettävä helium myös suprajohtavassa tilassa, ja LHC on siten myös maailman suurin suprajohtavaa ainetta käyttävä laitteisto.

Toinen suuri haaste on protonisuihkujen intensiteetti. Higgsin hiukkasten synnyttäminen on teoreettisten laskelmien perusteella harvinainen ilmiö. Tarvitaan keskimäärin 100 miljardia protoni-protoni-törmäystä ennenkuin voidaan keskimäärin odottaa yhden Higgsin bosonin syntymistä. Jotta näitä uusia hiukkasia voitaisiin tuottaa järkevässä ajassa riittävä määrä, on suihkujen intensiteettiä nostettava niin, että LHC:ssä tapahtuu 40 miljoonaa protonikimppujen törmäystä sekunnissa. Tämä asettaa puolestaan suuria vaatimuksia törmäyksissä syntyvien hiukkasten mittaamiseen käytettävien hiukkasilmaisimien, niistä koostuvien koelaitteistojen sekä ilmaisimien antamaa tietoa käsittelevien tietokonejärjestelmien suorituskyvyille.

Koegasemat

LHC-kokeet aloitetaan vuoden 2008 kesällä. Protoni-protoni-törmäyksiä mittaamaan



Ylhäällä. Kuva LHC:n tunnelista. Siniset lieriöt ovat supradipolimagneetteja, joiden avulla protonit pannaan kiertämään ympyrärataa tunnelia pitkin.

on rakenteilla kaksi suurta koeasemaa, CMS- sekä ATLAS-laitteistot, jotka ovat monipuolisia täyden avaruuskulman tutkimusasemia, erityisesti optimoitu Higgsin bosonien ja supersymmetristen hiukkasten havaitsemiseen. Kuten edellä todettiin, ne valmistautuvat havaitsemaan myös "uuden fysiikan" ilmiöitä.

Nykyisiin verrattuna kokeet tulevat olemaan äärimmäisen vaikeita. Erityisesti datansiirron nopeuden ja volyymin sekä laitteiden säteilykestävyyden osalta koeolosuhteet LHC:llä ovat aikaisempaa merkittävästi vaativammat.

CMS- ja ATLAS-koelaitteistojen komponenteista suuri osa on tilattu teollisuudelta. Kummankin kokeen rakennuskustannukset ovat noin 500 miljoonaa Sveitsin frangia. Projekteihin osallistuvat laboratoriot ja CERN rahoittavat ne vuosiksi 1998-2010 sovitun suunnitelman mukaan. Kahden protoni-protoni-kokeen rakentamista pidetään LHC-projektin onnistumisen kannalta tärkeänä, vaikka kustannukset ovatkin melkoiset. Tutkimustulosten ristiin varmistamiseksi on pyritty siihen, että CMS-

ja ATLAS-laitteistot perustuvat mahdollisimman paljon erilaisiin ilmaisimenmenetelmiin.

ATLAS- ja CMS-projekteihin osallistuu kumpaankin yli sata yliopistoa ja tutkimuslaitosta, näistä noin neljännes Yhdysvalloista. Kummassakin kokeessa suunnitteluun on aktiivisesti osallistunut viitisensataa tutkijaa, mutta lukumäärä on nyt kasvanut lähes kahteen tuhanteen.

Cernin UA1-kokeeseen (1982-1989) osallistunut suomalainen tutkijaryhmä on ollut mukana ideoimassa CMS-koetta sen alkuvaiheista lähtien. Nyt kokeeseen osallistuu tutkijoita ja insinöörejä Fysiikan tutkimuslaitoksesta, Helsingin yliopistosta, Teknillisestä korkeakoulusta ja Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta. Tällä pienellä, mutta vahvalla tutkijaryhmällä on keskeinen asema kokeen rakentamisessa sekä hyvät edellytykset olla tutkimuksen eturintamassa 2008 alkavissa kokeissa.

Suomi on kattanut CMS-kokeen rakennuskustannuksista noin kuuden miljoonan Sveitsin frangin verran kymmenen vuoden ajalle jaettuna. Määräraha on koottu Suomen Akatemian, Opetusministeriön ja Fysiikan tutkimuslaitosta hallinnoivien yliopistojen toimesta. Se käytetään laitehankintoihin ja osallistujainstituuttien ulkopuolisen työvoiman palkkaamiseen. Suomalainen teollisuus on menestyksellisesti osallistunut laitetöihin. Outokumpu Pori Copper toimitti esimerkiksi suprajohdavan langan

CMS-laitteiston suureen 4 Teslan magneettiin.

Protonien lisäksi LHC:llä voidaan törmäyttää raskaita ytimiä. Törmäyttämällä lyijy-ytimiä LHC:llä päästään vaikuttavaan 1000 TeV:n törmäysenergiaan. Näiden törmäyksen tutkimista varten on rakenteilla ALICE-koe, johon suomalaiset tutkijat Jyväskylän yliopistosta osallistuvat. Tärkein tutkimuskohde ALICE-kokeessa on faasinmuutos hadroniaineesta kvarkki-gluoni-plasmaan, aineen uuteen olomuotoon, jossa nukleonit ovat törmäysenergian aiheuttamassa korkeassa lämpötilassa "sulaneet" kvarkeiksi ja gluoneiksi. Maailmankaikkeuden ensisekunnin murto-osien ajan se on ollut tällaisessa muodossa

Kohti uutta tietoa

Cernin LHC-projekti on yksi maailman suurimmista tutkimushankkeista. Sitä voidaan hyvin verrata avaruus- ja tähtitieteen vastaaviin hankkeisiin. Aineen perusrakenteen tutkimuksessa se tulee olemaan näkyvin ja kiinnostavin tutkimushanke seuraavan kymmenen vuoden ajan. Se saattaa hyvinkin muuttaa merkittävästi käsityksiämme maailmankaikkeuden rakenteesta ja sen alkuehdistä. Näin se tarjoaa seuraaville fyysikkopolville kiehtovan tutkimusympäristön ja mahdollisuuden löytää uusia kiehtovia ilmiöitä kokeiden parissa.

SAMSKOLANS KLASS II G PÅ BESÖK HOS CERN I GENEVE

Texten **Anneli Öhman**

Det europeiska centret för kärnforskning, CERN, som grundades för 50 år sedan i Geneve i Schweiz, är världens största ingenjörprojekt.

CERN använder Europas största data-maskinscentral GRID. **Tim Berners-Lee** utvecklade år 1990 World Wide Web, www, utgående från en intern telefonkatalog för CERN. Katalogen var nödvändig för att dygnet runt kunna kommunicera med forskare i USA, då ett vanligt telefonsamtal dagtid från USA inte kom igenom den stängda telefonväxeln nattetid i Geneve.

I december 2006 reste åtta elever från klass II G i Svenska Samskolan i Tammerfors under ledning av lektor **Anneli Öhman** till Geneve för att delta i en vetenskapskurs för finlandssvenska gymnasieelever i CERN. Totalt 22 elever var med på resan. De övriga deltagarna var från Uleåborg, Helsingfors och olika skolor i Österbotten.

I CERN accelereras partiklar till hastigheter nära ljusets för att sedan krocka med varandra eller andra strålmål. Man återskapar sålunda det tillstånd som man tror rådde några ögonblick efter Big Bang då universum skapades. Det innebär bland annat att man uppnår de oerhörda temperaturerna 10 miljarder miljarder grader Celsius i det tidiga universum.

För att kunna skapa dessa förhållanden måste de accelererade partiklarna rusas i en 27 kilometer lång tunnel 100 meter djupt nere i jorden. Tunneln ligger på ett område i Schweiz och Frankrike mellan Genevesjön och Jurabergen.

Acceleratorn, LHC (Large Hadron Collider) är CERN:s idé. År 2008 ska, om allt går enligt planerna, tvillingstrålar av protoner skickas - en medsols, en motsols - ner i den 27 kilometer långa tunneln för att träffa varandra vid olika detektorstationer nedgrävda på vägen. Två av dem, ATLAS och CMS, var målet för vetenskapskursens besök.

Mammutdetektorn ATLAS på schweiziska sidan är hög som ett femvåningshus, 22 meter, och väger 7.000 ton. Den ska mäta partikelbanor med 0,01 millimeters noggrannhet

då protonstrålarna kolliderar i hjärtat av detektorn. Enbart i ATLAS är 2.000 fysiker inblandade. Delar till detektorn förs ner i underjorden med en jättekran.

CMS-detektorn skall placeras 100 meter under den lilla franska staden Cussy, där en grotta stor nog att rymma en katedral skapats, varvid 250 000 kubikmeter sten och jord tagits bort. CMS-detektorn har byggts av lika mycket järn som Eiffeltornet och av mässing som smälts ner från gamla ryska stridsskeppsskrov och väger totalt 12.500 ton. Den sänks ner i grottan i 2.000 tonssektioner med en jättekran.

DE TEKNISKA LÖSNINGARNA HAR varit många och komplicerade, och ledningen för CERN har vidtagit radikala åtgärder för att projektet LHC ska stå klart år 2008. De flesta av CERN:s finansiella resurser har tagits i bruk, människor har flyttats från andra projekt och till och med rutinmässiga underhåll har offrats. Stora delar av CERN ser slitna ut och kontorsfönster har faktiskt ramlat ut.

Vad ska då alla dessa kollisioner vara bra för? Jo, man hoppas bland annat på att hitta den gäckande "Higgspartikeln", som man tror bär på massa.

Varför har några partiklar som protoner och neutroner massa, medan de ljusbärande fotonerna inte har någon massa alls?

Många fysiker tror att partiklarna får massa genom att "äta" en speciell slags partikel som kallas "Higgsboson" efter den skotske fysikprofessorn **Peter Higgs** (f. 1929). Man hoppas att tack vare LHC:s enorma energimängder i kollisionerna få se spår av just

denna Higgsboson.

Alla partiklar har antipartiklar, spegelbilder, som detekteras i CERN.

Flere föreläsare påpekade att **Dan Browns** roman "Änglar och demoner" är en nog så fantasifull berättelse om antimateria, men den innehåller enligt dem inga större sakfel.

Antiprotoner och protoner används bland annat för behandling av cancer.

Strålarna gör mindre skada än röntgenstrålarna då de sänds in i vävnaderna.

Även tyngre joner än protoner skapas med accelererade protoner. De kan användas i PET-kameror på sjukhusen för att lokalisera metastaser vid tumörsjukdomar och för att kartlägga flertalet sjukdomar i hjärnan, till exempel skallskador, epilepsi och Parkinsons sjukdom.

Också klimatforskarnas Cloud-projekt hoppas dra nytta av resultaten från de av LHC-acceleratorn genererade partiklar som återfinns i den kosmiska strålningen.

Deltagarna i vetenskapskursen deltog också i guidade rundturer i Röda Korsets och FN:s Europahögkvarter. En kurs i modern fysik kunde avläggas genom föreläsningar, iakttagelser och upplevelser utanför den ordinarie skolundervisningen. Redan chansen att en elev i matkän kunde stå bakom en Nobelpristagare var stor!

Resan kunde förverkligas genom understöd från Utbildningsstyrelsen, Tekniska Föreningen i Finland, Magnus Ehrnrooths stiftelse och tack vare egna hopspargade klasspengar.

Ett stort tack till sponsorerna!

I CERN accelereras partiklar till hastigheter nära ljusets för att sedan krocka med varandra eller andra strålmål. Man återskapar sålunda det tillstånd som man tror rådde några ögonblick efter Big Bang då universum skapades. Det innebär bland annat att man uppnår de oerhörda temperaturerna 10 miljarder miljarder grader Celsius i det tidiga universum.



I djupa källarvalven...
Vårt gäng nere i
ATLAS-grottan.

NÅGRA ELEVKOMMENTARER

MYCKET INTRESSANT OCH LÄRORIK
resa. Vi fick många nya vänner och vi lärde känna den schweiziska kulturen. Detektorerna i CERN var häpnadsväckande, och det var fint att få höra om fysikernas jobb på CERN. Utställningen Microcosmos var väldigt fint gjort och fascinerande.

Staden Geneve var multikulturell och gamla staden hade fina gamla byggnader.

Resan var på alla sätt lyckad, och det fanns hela tiden något att göra och se.

Ett varmt tack till alla!

Anna Hagqvist

Maria Nygård

Erik Salli

VI ÅKTE MED BUSS TILL CERN OCH
fick lyssna på svensktalande föreläsare. Till sist gick vi och tittade på detektorerna.

Vi fick också nya kompisar bland eleverna från de andra skolorna.

Jon Andréson

CERN-RESAN VAR NÅGOT SOM
verkligen blir värt att minnas. Det är efter allt vår framtid det handlar om.

Geneve, där vi var, har nu blivit känt för klassen och vi har åter fått se världen från en ny synpunkt.

Under den tid vi vistades i CERN fick vi se den moderna konstruktionen och och fysiken med egna ögon, vilket inte händer varje dag. Under föreläsningarna fick vi information om fysik och det jobb som CERN gör.

Man kan tro att det bara är fysiker som jobbar på CERN, men i dagens läge är det långt fler som jobbar med uppbyggnad och underhåll av fysikapparatur.

En positiv språkgrund har vi även fått i franska, på grund av brist på andra kommunikationsspråk i Geneve.

Denna resa var något som man inte upplever många gånger.

Frej Karlsson

Thomas Karhu

RESAN TILL CERN VAR VERKLIGEN
intressant. Man fick se en ny del av Europa samtidigt som man studerade fysik. Föreläsningarna på CERN var intressanta, trots att vissa föreläsare talade ganska dålig engelska.

Det jag såg fram emot mest var detektorbesöken, som gav en bra bild av hur mycket CERN gör för att hitta något som de tror finns. Fastän en hel del skolarbete väntade när man kom tillbaka, så var resan väl värd det.

Rasmus Saxén

DAGEN BÖRJADE MED ATT VI ÅKTE
till CERN:s centrum. Då vi anlände, gick vi till ett konferensrum och vi fick veta om CERN och kulturella skillnader med mera.

Sedan fortsatte vi till CERN-museet, där vi kunde observera tekniken som används i acceleratorerna. Efter det begav vi oss till restaurangen och åt lunch.

Sedan träffade vi arbetare i CERN som hade svenska som modersmål och de berättade om sitt arbete med mera.

Vi fortsatte till "Building 33". Där såg vi en detektor. Nästa dag såg vi detektorn ATLAS, som är den största detektorn i CERN.

Mikael Ahlström

VARHAINEN MAAILMANKAIKKEUS JA UUSI FYSIIKKA

Teoreettisen fysiikan professori Kari Rummukainen valottaa vasta hiljattain täsmätieteeksi muuttuneen kosmologian historiaa ja nykytilaa – ja sitä, miksi ”uutta fysiikkaa” yhä tarvitaan.

Teksti **Kari Rummukainen**

Kuva **Pyhäjoen lukio**

Viimeisten parin vuosikymmenen aikana kosmologiassa – maailmankaikkeuden alkuhetkien tutkimuksessa – on tapahtunut ratkaiseva läpimurto: uudet tarkkuusmitaukset ovat ratkaisevasti lisänneet meidän ymmärrystämme maailmankaikkeuden alkuhetkien fysiikasta. Sanotaankin että kosmologiasta on tullut nyt täsmätiedettä, aikaisempien varsin summittaisten tulosten sijaan. Samalla kosmologian ja alkeishiukkasten välisen fysiikan yhteys on saanut keskeisen aseman, ja nämä kaksi fysiikan alaa ovatkin nykyään täysin kietoutuneet toisiinsa. Kosmologisten havaintojen selittäminen onkin nykyisen hiukkasfysiikan suurimpia haasteita.

Pimeä aine ja energia

Aivan viime vuosina on useiden havaintojen vahvistamana ilmennyt, että maailmankaikkeuden koko energiabudjetista on ”tavallisen” aineen – siis aineen, mikä koostuu tunnetuista alkeishiukkasista – osuus vain noin 4-5%. Tästä siis koostuvat kaikki planeetat, tähdet, tähtien välinen pöly, me itse ja niin edellen. Noin 24% on ”pimeää ainetta”, mikä koostuu todennäköisesti vielä tuntemattomista alkeishiukkasista. Nämä hiukkaset muodostavat ikään kuin suuren pölypilven kaikkien galaksien ja galaksijoukkojen ympärille. Suurin osuus, noin 71%, on vielä eksoottisempaa ”pimeää energiaa”. Pimeä energia vastaa täysin tyhjän avaruuden energiasisältöä, ja sen koko luonne on vielä mysteeri.

Pimeä aine ja pimeä energia eivät kuulu nykyisin tunnettujen fysiikan teorioiden piiriin. Ne vuorovaikuttavat tavallisen aineen kanssa hyvin heikosti, ja ne onkin havaittu ainoastan epäsuorasti niiden aiheuttaman painovoiman vaikutuksesta. Pimeän aineen ja pimeän energian luonteen selvittäminen onkin nykyisen hiukkasfysiikan ja kosmologian keskeisimpiä ongelmia. Pimeän aineen hiukkasten suhteen onkin toiveita, että niitä havaitaan suoraan lähitulevaisuudessa. Pimeän aineen ominaisuuksista on esitetty useita teoreettisia malleja, ja joidenkin niistä mukaan pimeän aineen hiukkasia voidaan

kenties tuottaa Euroopan hiukkasfysiikan tutkimuskeskukseen, Cerniin, rakenteilla olevalla uudella LHC-hiukkaskiihdyttimellä. Toinen mahdollisuus on, että havaitsemme suoraan avaruudesta maapallolle tulevan pimeän aineen hiukkasan. Näitä virtaa jatkuvasti maapallon läpi, mutta niitä on hyvin vaikea havaita johtuen erittäin heikosta vuorovaikutuksesta normaalin aineen kanssa.

Pimeä aineen ja energian havainnot ovat yksi konkreettisimpia todisteita siitä, että nykyisin tunnettu hiukkasfysiikka, niin sanottu hiukkasfysiikan standardimalli, ei voi sisältää koko totuutta fysiikasta. Tarvitaan siis ”uutta fysiikkaa”. Teoreettiset fyysikot ovatkin esittäneet kymmenittäin erilaisia malleja mahdolliselle uudelle fysiikalle. Havaitut pimeän energian sekä etenkin pimeän aineen ominaisuudet asettavat tiukat rajat sille, millaista tämä uusi fysiikka voi olla, ja havaintotulosten tarkentuessa yhä suurempi osa ehdotetuista malleista karsiutuu pois väärin ennustusten vuoksi. Tällä tavalla kosmologia ja maailmankaikkeuden rakenne toimivat eräänlaisena äärimmäisen hiukkasfysiikan laboratoriona.

Alkuräjähdyksen jäljet

Nykyisen kosmologian voidaan sanoa alkaneen vuonna 1928, kun **Edwin Hubble** havaitsi, että kaukaiset galaksit etäännyvät toisistaan: maailmankaikkeus siis laajenee. Tämä oli yllätys ajan tiedeyhteisölle: yleinen käsitys oli, että maailmankaikkeus on staattinen ja ikuinen. Varsin pian oivallettiin, että jos galaksien liikettä jatketaan ajassa taaksepäin, päädytään tilanteeseen, missä kaikki galaksit ovat samassa pisteessä: äärimmäisen kuuma ja tiheä alkusingulariteetti, alkuräjähdyks. Muita todisteita alkuräjähdyksestä ei tässä vaiheessa vielä tunnettu, joten koko alkuräjähdysteorian todenmukaisuus oli pitkään varsin kiistanalainen. Alkuräjähdyksen englanninkielinen nimitys, ”Big Bang”, onkin pilkkanimi, minkä alkuräjähdysteorian vastustaja **Fred Hoyle** keksi 50-luvulla.

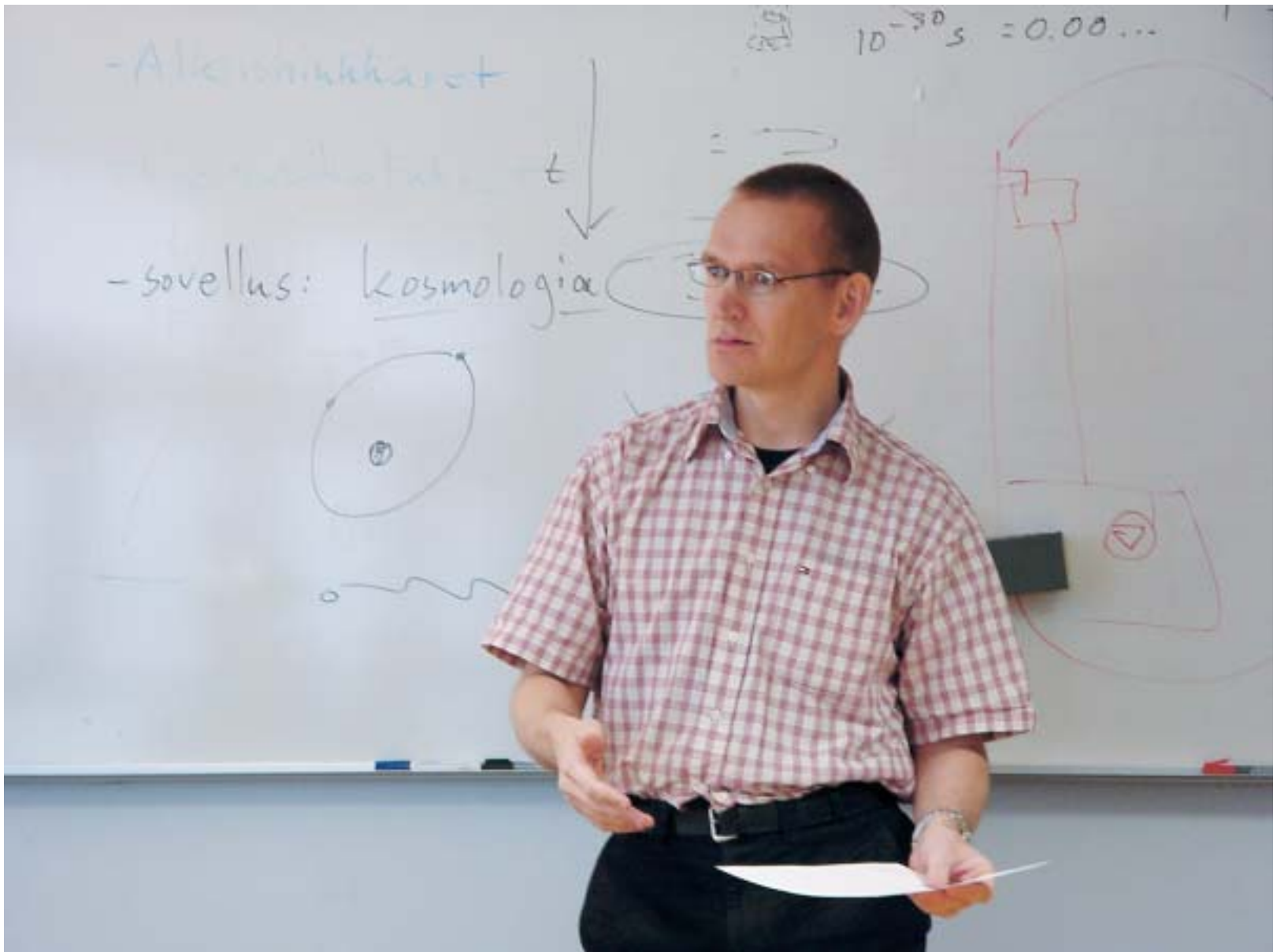
Nykyään alkuräjähdyksen olemassaolo on täysin varmistunut useiden havaintojen nojalla. Tärkeimpinä näistä ovat niin sanottu

mikroaaltotaustasäteily (alkuräjähdyksen jälkihehku) sekä keveiden alkuaineiden suhteellinen runsaus maailmankaikkeudessa, nukleosynteesi.

Maailmankaikkeuden laajenemisesta seuraa, että sen keskimääräinen lämpötila laskee. Tästä seuraa kääntäen, että varhainen maailmankaikkeus oli hyvin kuuma. Jos siis käänämme kellon viisareita taaksepäin, niin näemme että noin 300 000 vuoden ikäisessä maailmankaikkeudessa lämpötila oli noin 3000 Kelvin-astetta; niin suuri että atomit olivat täysin ionisoituneita, toisin sanoen elektronit olivat vapaita atomiytimistä. Maailmankaikkeus oli täynnä valkohehkuisia, läpinäkymätöntä plasmata, muistuttaen auringon pintaa. Kun maailmankaikkeus jäähtyi, elektronit tarttuivat atomeihin ja plasma muuttui läpinäkyväksi neutraaliksi kaasuksi. Tässä vapautunut säteily voidaan nykyään havaita mikroaaltotaustasäteilynä.

Viimeaikaiset mikroaaltotaustasäteilyn tarkkuushavainnot antavat erittäin tarkan ”valokuvan” 300 000 vuoden ikäisen maailmankaikkeuden rakenteesta. Siinä näkyvät yksityiskohdat luonnollisesti riippuvat vieläkin varhaisemmassa maailmankaikkeudessa tapahtuneista ilmiöistä, ja mikroaaltotaustasäteilyä voidaankin käyttää tarkkuusinstrumenttina monien kosmologisten suureiden määrittämiseen.

Jos menemme edelleen ajassa taaksepäin vain muutaman minuutin ikäiseen maailmankaikkeuteen, saavamme nukleosynteesin eli keveiden alkuaineiden synnyn ajankohtaan. Lämpötila oli nyt noin miljardi astetta, vastaten ydin fysiikan energiatasoa. Ennen nukleosynteesin alkua maailmankaikkeus oli vielä niin kuuma, että atomiydinten rakenneosat, protonit ja neutronit, liikkuvat niin nopeasti, etteivät ne pystyneet muodostamaan sidottuja tiloja. Lämpötilan laskiessa niiden nopeus hidastui, ja ennen pitkää ne takertuivat toisiinsa muodostaen erilaisia keveiden alkuaineiden ytimiä. Tässä prosessissa syntyneiden alkuaineiden tiheys voidaan laskea luotettavasti; tuloksena saadaan (olettaen yllä mainittu 4% kokonaisainemäärä), että maailmankaikkeuden normaalista aineesta tulisi olla 76% vetyä (ydin siis pelkkä protoni), 24%



Ylhäällä. Kari Rummukainen luennoimassa standardimallista ja kosmologiasta Cernissä keväällä 2004.

heliumia, 0.007% deuteriumia ja prosentin murto-osia muita keveitä alkuaineita ja niiden isotooppeja. Lasketut arvot sopivat hyvin yhteen tähtitieteellisten mittausten kanssa.

Nukleosynteesissä syntyy vain muutamia keveimmistä alkuaineista. Raskaammat alkuaineet, kuten lähes kaikki maapallolla esiintyvät alkuaineet, syntyivät (ja syntyvät edelleen!) paljon myöhemmin ydinreaktioissa tähtien sisällä. Kun massiivisimmat tähdet räjähtävät supernovaräjähdyksinä, valtava määrä ainetta sinkoutuu kaasuna tähtienväliseen avaruuteen, mukana myös ydinreaktioissa syntyneet raskaammat alkuaineet. Näistä kaasupilvistä voi myöhemmin tiivistyä uusia tähtiä ja planeettoja. Täten se aine, mistä planeettamme ja me itse koostumme, on kierrätysmateriaalia kuolleista tähdistä.

Se, että nukleosynteesi selittää hyvin eri alkuaineiden yleisyyden, on yksi vah-

vimmista todisteista alkuräjähdysteorian puolesta. Nukleosynteesi on ainoa tunnettu mekanismi, mikä pystyy onnistuneesti selittämään havaitut keveiden alkuaineiden suhteelliset tiheydet. Lisäksi se rajoittaa tarkkaan maailmankaikkeuden sisältämän aineen kokonaismäärän.

Vielä mentäessä ajassa taaksepäin tulemme syvälle hiukkasfysiikan alueelle: noin 10 mikrosekunnin ikäisessä maailmankaikkeudessa protonit ja neutronit puolestaan ”sulavat” niin sanotuksi kvarkki-gluoniplasmaksi. Viimein noin 0,1 nanosekunnin ikäisessä maailmankaikkeudessa fysiikan tuntemuksemme loppuu: tätä aiemmin lämpötilat ja energiat olivat niin suuria, ettei niitä ole vielä voitu tutkia hiukkaskiihdyttimissä. Äärimmäisten varhaisten hetkien fysiikka on kuitenkin vaikuttanut maailmankaikkeuden myöhempään kehitykseen, ja jälkiä niitä voidaan nähdä esimerkiksi mikroaaltotaustasäteilyssä.

Uusi fysiikka ja kosmologia

Hiukkasfysiikan standardimalli on nykyisin tunnetun fysiikan teoria, ja se on pystynyt

menestyksellisesti kuvaamaan kaikkien maanpäällisissä laboratorioissa tehtyjen kokeiden tuloksia jo yli 30 vuoden ajan. Viimeaikaiset kosmologiset havainnot ovat kuitenkin vakavasti nakertaneet standardimallin asemaa: edellä mainittujen pimeän aineen ja pimeän energian lisäksi kosmologiassa on useita muita ongelmia ja ilmiöitä, joiden selitys vaatii uutta, toistaiseksi tuntematonta fysiikkaa.

Kosmologisten havaintojen epäsuoruudesta johtuu, ettemme pysty vielä sanomaan, mikä tämä standardimallin korvaava teoria on, mutta joka tapauksessa havainnot asettavat tiukkoja ehtoja uudelle fysiikalle. Teorian lopullinen määrittäminen vaatii uusia hiukkaskiihdytinkokeita.

Ei siis ihme, että kosmologian kehitys on herättänyt valtavasti mielenkiintoa hiukkasfysiikoiden parissa, ja kosmologiasta on tullut hiukkasfysiikan yksi tärkeimmistä sovelluskohteista. Lähivuosien aikana tilanne tulee kehittymään ratkaisevasti, kun sekä Cernin uusi LHC-hiukkaskiihdytin että ESA:n mikroaaltotaustasäteilyä mittaava Planck-satelliitti otetaan käyttöön.

JÄRJEN RAJOILLA

Kvanttimekaniikan mukaan kaikki koostuu sekä hiukkasista että aalloista, ja kissa voi olla yhtä aikaa sekä elävä että kuollut. Todellako? No ainakin teoriassa.

Teksti **Olli Hyvärinen**

1800 -luvun lopulla fysiikka oli tullut tiensä

päähän: maailmankaikkeudessa ei tuntunut olevan mitään, mitä newtonilainen mekaniikka ja **Maxwellin** sähkömagnetismi eivät pystyneet pitävästi selittämään. Vaikka teoriat eivät olleet täysin ristiriidattomia, ei niiden eroavaisuuksia pidetty kovin vakavina. Useimpien mielestä jäljellä oli enää muutamia ratkaisemattomia ongelmia, kuten eetterin – kaiken avaruuden täyttävän aineen, jossa aaltoliikkeenä pidetty valo voisi edetä ja johon kaikkea liikettä voitaisiin verrata – löytäminen ja sen ominaisuuksien lopullinen mittaaminen.

Toisena klassisen fysiikan ongelmana pidettiin niin sanottua mustan kappaleen säteilyä. ”Musta kappale” voi olla esimerkiksi kuuma uuni, joka on lämmitetty 200 °C (lämpötilalla ei oikeastaan ole merkitystä ongelman kannalta). Uunin seinämät säteilevät sähkömagneettista säteilyä, jossa on kaikkia Maxwellin teorian ennustamia aallonpituuksia – eli sellaisia, joiden aallonpohjia ja -huippuja mahtuu uunin sisälle kokonaisluvun verran. Vaikka tämä ehto jättääkin laskennan ulkopuolelle äärettömän paljon eripituisia aaltoja, jää niitä silti äärettömän paljon jäljelle, sillä aallot voivat aina mennä lyhyemmiksi ja lyhyemmiksi.

Tämä ei ehkä kuulosta suurelta ongelmalta, mutta sitä se kuitenkin oli: klassisen mekaniikan aaltoyhtälöiden mukaan kuuma uuni nimittäin sisältää äärettömän paljon energiaa. Jokainen ymmärtää (ellei sitten ole jälkeenjäänyt), ettei tämä ole järkevä vastaus ongelmaan. Kuumassa uunissa voi olla paljon energiaa, mutta ei kuitenkaan äärettömän paljon.

1900-luvun alussa saksalainen fyysikko **Max Planck** antoi ongelmaan mielestään epätoivoiselta vaikuttavan ratkaisun. Hänen mukaansa uunin seinämien värähtelijät eli atomit luovuttivat ja vastaanottivat energiaa vain epäjatkuvina hyppäyksinä, energiamöykkyinä, joita hän nimitti kvanteiksi. Samalla, kun Planckin kvanttihypoteesi ratkaisi kuuman uunin ongelman, se kuitenkin enteili lopun alkua klassiselle käsitykselle maailmankaikkeudesta ja aineen rakenteesta.

Aaltoja, hiukkasia ja epätarkkuutta

Muutamaa vuotta myöhemmin **Albert Einstein** osoitti, että säteily ei itse asiassa ole mitään muuta kuin kokoelma noita energiakvantteja, joita myöhemmin alettiin kutsua fotoneiksi. Tämä oli radikaali

näkökulmanmuutos, sillä vain muutama vuosikymmen aikaisemmin Maxwell oli osoittanut, että valo on sähkömagneettista säteilyä. Miten valon aalto-ominaisuudet voidaan sitten selittää, jos se kerran koostuu hiukkasista? Einsteinin vastaus ongelmaan oli yksinkertainen: valo on sekä hiukkasia että aaltoja. Vaikka selitys tuntuu absurdil-

KISSA EI OLE ONGELMA

KVANTTIMEKANIikka ON AINEEN perusteoria. Se on pohjana niin kemiallisille reaktioille ja jaksolliselle järjestelmälle kuin nykYTEKNOLOGIALLE ja käsityksellemme maailmankaikkeudesta. Kännykät, digikamerat, televisiot ja tietokoneet perustuvat kaikki pohjimmiltaan aineen perustasolla tapahtuviin kvanttimekaanisiin ilmiöihin.

Silti useilla fysiikan suurmiehilläkin on ollut suuria vaikeuksia sulattaa teoriaa. ”Nykyisin tutkijat ovat kuitenkin alkaneet hyväksyä järjettömyyden osana teoriaa. Enää asiaa ei samalla tavalla murehdita, vaan ajatellaan vaan kylmästi, että ”Tämä on taas niitä kvanttimekanian kummallisuuksia, eikä niille mitään mahda”, kertoo Oulun yliopistossa teoreettisen fysiikan professorina toimiva **Kari Rummukainen**. Ennen siirtymistään Ouluun Rummukainen oli töissä Cernissä. ”Samaan aikaan, kun sain professuurin Oulusta, pääsin myös tutkijaksi Cerniin, joten otin muutaman vuoden virkavapaata”, mies kertoo. Ouluun hän lähti kesällä 2006.

Rummukaiselle teorian sisältämät kummallisuudet eivät ole olleet ongelmallisia. ”Toisaalta en kyllä olekaan filosofinen fyysikko vaan enemmän käytännön mies. En yleensä mieltä teorioiden filosofisia seurauksia tai pohdi sellaisia kummallisuuksia kuten Schrödingerin kissaa”, hän kertoo ja jatkaa, ”Eikä se kissakaan varsinaisesti mikään ongelma ole.” Ai ei vai?

”No ei. Kvanttimekaaniset ominaisuudet



det heikkenevät eksponentiaalisesti, kun kappaleen koko kasvaa. Jo yksittäisillä atomeilla niitä on erittäin vaikea havaita, ja kissan kokoisilla kappaleilla ne ovat käytännössä jo kadonneet olemattomiin. Tällaisen dekoherenssi-tulkinnan mukaan varsinaista ongelmaa ei siis ole: kissa on joko elossa tai kuollut, ei mitään siltä väliltä”, Rummukainen selittää.

Nykyisin useimmat tiedemiehet suhtautuvat asiaan samoin kuin Rummukainen: he lähestyvät ongelmaa dekoherenssi-tulkinnan kautta, jolloin ongelma käytännössä katoaa. ”Tilanteen tällainen tulkinta vie kyllä mysteerin koko jutusta”, hän naurahtaa ja toteaa, ”Mikromaailmassa tällaiset tapahtumat eivät kuitenkaan ole harvinaisia. Esimerkiksi elektroneilla vastaavanlaisia, arkijärjellä käsittämättömiä tapahtumia sattuu koko ajan.”

ta, se kuitenkin pätee erittäin hyvin valon ominaisuuksia selvittäneiden tutkimusten tuloksiin.

Vuonna 1923 ranskalainen **Luis de Broglie** esitti ajatuksen, että jos säteilyllä on hiukkasmaisia ominaisuuksia, niin eikö hiukkasilla voisi olla vastaavasti aaltomaisia ominaisuuksia. Kun hän oli esitelmöimässä aiheesta Zürichissä, yleisön joukossa ollut professori **Debye** totesi, että ”jos on olemassa aaltoja, on myös olemassa niitä kuvaava aaltoyhtälö”. Zürichin yliopistossa professorina toiminut **Erwin Schrödinger** tarttui Debyen kommenttiin; tuloksena oli Schrödingerin yhtälö, joka on kvanttimekaniikan perusta.

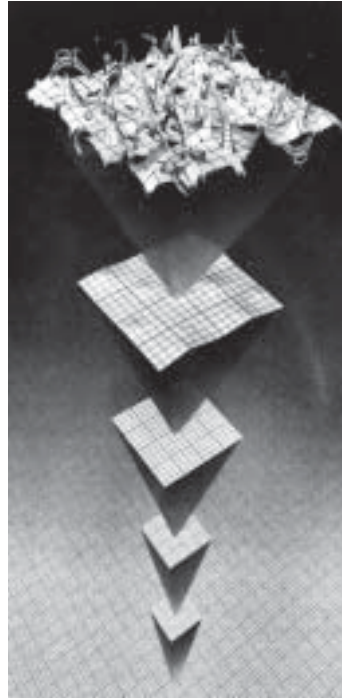
Schrödinger kuvasi hiukkasia (kuten elektroneja) todennäköisyysaaltoina, joista nähtiin niiden todennäköisimmät olinpaikat tiettyinä hetkenä. Myöhemmin **Heisenberg** laajensi tätä käsitystä toteamalla, ettei hiukkasilla samaan aikaan voi olla sekä tarkkaa nopeutta että tarkkaa olinpaikkaa. Tämän epätarkkuusperiaatteeksi nimetyn teorian mukaan hiukkasten tai minkään muunkaan kappaleen liikerataa ei siis voida laskea mielivaltaisen tarkasti; se kertoo vain eri liikeratojen todennäköisyydet.

Vaikka Schrödinger tunnetaan nykyään yhtenä kvanttimekaniikan merkittävimmistä kehittäjistä, hänellä oli suuria vaikeuksia hyväksyä teorian sisältämä todennäköisyysluonne. Havainnollistaakseen teorian järjenvastaisuutta – tai puutteellisuutta, kuten hän itse uskoi – Schrödinger kehitti seuraavan ajatuskokeen.

Suljetussa laatikossa on kissa. Laatikkoon on kytketty laitteisto, joka koostuu radioaktiivisesta ytimestä ja myrkykaasuastiasta. Ydin hajoo 50 prosentin todennäköisyydellä seuraavan tunnin sisällä. Jos ydin hajoo, se lähettää hiukkasen, joka käynnistää laitteiston. Kun laitteisto käynnistyy, aukeaa myös myrkykaasusäiliö, ja kissa kuolee.

Koska ydintä ei voida havainnoida, sitä täytyy kvanttimekaniikan mukaan kuvata sen kaikkien mahdollisten tilojen sekoitukseksi, superpositioksi. Ja koska ytimen tilasta ei voida tietää mitään, ei voida tietää myöskään sitä, onko kissa elossa vai kuollut, joten tätäkin kuvataan superpositiolla. Lopullisen tilansa systeemi (siis radioaktiivinen ydin, kaasupurkki ja kissa) joutuu päättämään vasta siinä vaiheessa, kun havainnoija avaa laatikon ja tarkistaa asian. Joidenkin kvanttimekaniikan tulkintojen mukaan kissa on siis elossa ja kuollut yhtä aikaa.

Schrödinger ei ollut ainoa, joka vastusti kvanttimekaniikan näennäistä järjettömyyttä. Myös Albert Einstein kritisoi teoriaa ja pyrki osoittamaan, että se on vain puutteellinen kuvaus maailmankaikkeudesta. ”Ju-



Einsteinin kehittämä yleinen suhteellisuusteoria selittää gravitaation aika-avaruuden geometrisilla muutoksilla. Tietyllä tapaa se on siis klassinen teoria, sillä se ei sisällä kvanttimekaniikan epätarkkuusluonnetta. Mikäli teoria puettaisiin kvanttimekaaniseen muotoon, täytyisi aika-avaruus luultavasti pilkkoa kvanteiksi; samalla aika-avaruuteen syntyisi villoja kvanttimekaanisia heilahteluita, fluktuatioita, jotka alkaisivat näkyä, kun lähestytään Planckin skaalaa.

mala ei heitä noppaa”, hän tuhahti ja käytti viimeiset vuosikymmenensä kehittämiseen Teoriaa Kaikesta, joka olisi täydellisessä sopuinnussa yleisen suhteellisuusteorian kanssa, eikä sisältäisi kvanttimekaniikan harmillista epätarkkuusluonnetta. Siinä hän kuitenkin epäonnistui surkeasti.

Kohti suurta yhtenäisteoriaa

Nykyään tiedämme, että Einstein haki vastausta ongelmiinsa aivan väärästä suunnasta. Kvanttimekaniikan ennustamat ilmiöt on onnistuttu testaamaan äärimmäisen tarkkoilla mittauksilla, ja mittaus tulokset ovat aina tukeneet teoriaa. Suurinta osaa koetuloksista ei edes voida selittää ilman epätarkkuutta ja monia muita teorian kummallisuuksia. Yleisesti ollaankin sitä mieltä, että suhteellisuusteoria on klassinen teoria, jota pitäisi uudistaa, jotta se saataisiin sopuun kvanttimekaniikan kanssa. Ei toisin päin.

Yleinen suhteellisuusteoria selittää gravitaation avaruuden rakenteen geometrisilla muutoksilla: massa ja energia saavat avaruuden ”kaareutumaan” ja juuri avaruuden kummut saa planeetat kiertämään aurinkoa tiettyä rataa pitkin. Jos yleinen suhteellisuusteoria puettaisiin kvanttimekaaniseen muotoon, olisi varsin todennäköistä, että itse avaruus ja aika jouduttaisiin pilkkomaan kvanteiksi, pienimmiksi mahdollisiksi ajan ja avaruuden palasiksi. Toisin sanoen ajan kuluminen ei olisi portaaton vaan sillä olisi pienin mah-

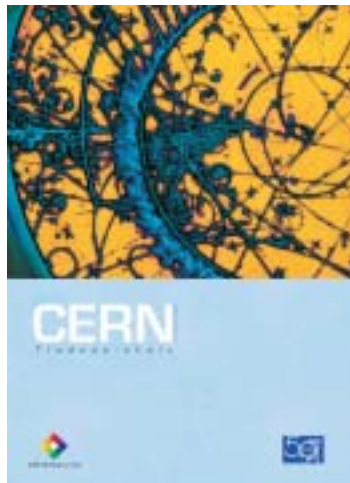
dollinen yksikkö, jota lyhyemmästä ajasta ei olisi edes mielekästä puhua. Sellaista ei yksinkertaisesti olisi olemassa eikä mikään tapahtuma voisi tapahtua sitä lyhyemmässä ajassa.

Tällä hetkellä parhaimpana kandidaattina kvanttimekaniikan ja yleisen suhteellisuusteorian yhdistäväksi ”kaiken teoriaksi” pidetään säieteorioita, jotka mahdollistavat gravitaation kvanttiteorian muotoilemisen. Yhdistämisen hinta on kuitenkin kova, teorian nimittäin vaativat toimiakseen 10- tai 11-ulottuvuudensisen maailmankaikkeuden. Teorian mukaan nämä ylimääräiset tilalattuvuudet ovat käpertyneet niin pieniksi, ettemme voi niitä mitenkään havaita. Sen sijaan esimerkiksi elektronit, joita nykyään pidetään pistemäisinä alkeishiukkasina, olisivat eräänlaisia säikeitä, joiden värähtely aiheuttaa hiukkasen havaittavat ominaisuudet, kuten massan ja varauksen. Nämä säikeet tai säielenkit olisivat niin pieniä, että ne mahtuisivat liikkumaan myös kokoon käpertyneissä ulottuvuuksissa.

Säieteoriat ovat kuitenkin vielä pahasti keskeneräisiä, ja useat tutkijat suhtautuvat niihin hyvin kriittisesti. Ehkä syystäkin: niiden ennustuksia ei nimittäin (ainakaan vielä) voida mitenkään testata. Toisaalta on mahdollista, että esimerkiksi kosmologit löytäisivät varhaisesta maailmankaikkeudesta jotain, joka viittaisi säieteoriaan, mutta tämäkin on pitkälti spekulatiota. Vielä toistaiseksi säieteoriat ovat lähempänä filosofiaa kuin empiirisiin kokeisiin perustuvaa fysiikkaa.

AIEMMIN JULKAISTUA

Cern-verkoston aiempiin tuotoksiin voit tutustua myös netissä!



Koulujen CERN-tiedeopiskelu, 2004

Cern-verkoston ensimmäinen valtakunnallinen julkaisu toimitettiin "CERN – 50 Years of Science" -juhlavuoden kunniaksi. Sitä jaettiin Cern-seminaarissa Jyväskylän yliopistolla syyskuussa 2004.

Julkaisun sähköiseen versioon voi käydä tutustumassa osoitteessa lukio.pyhajoki.fi/cern/



KVARKKI, 2004

Hämeenlinnan seudun lukioiden toimittama aluejulkaisu, "CERN – 50 Years of Science" -juhlavuoden kunniaksi. Ryhmän opiskelijat osallistuivat myös Cernin avointen ovien päivään.

Sähköinen versio on osoitteessa www.hameenlinna.fi/tiedostot/koulut/kaurialanlukio/cern2004/kvarkki/Kvarkki.pdf



KVANTTI, 2006

Pyhäjoen lukion ja Raahen Ratolin Cern-yhteistyöstä kertova aluejulkaisu, joka toimitettiin kansainvälisen "World Year of Physics 2005" -juhlavuoden kunniaksi. Julkaisu painatettiin tammikuussa 2006.

Julkaisun sähköiseen versioon voi käydä tutustumassa osoitteessa lukio.pyhajoki.fi/cern/

KIITOS!

CERN-tiedeopetusverkosto kiittää Cernin ja Fysiikan tutkimuslaitoksen (Helsinki Institute of Physics, HIP) tutkijoita tiedeopetuksen järjestämisestä lukiolaisille ja opettajille sekä Jyväskylän yliopiston fysiikan laitosta yhteistyöstä.

Kiitos myös kaikille yksittäisiä leirikouluhankkeita joko opetuksessa tai rahoituksessa tukeneille korkeakouluille, yliopistoille, yrityksille, kunnille ja organisaatioille.

Taloudellisesti verkoston toiminnan ovat mahdollistaneet Opetushallituksen hankerahoitus sekä koordinaattorikunnat Jyväskylän maalaiskunta suomenkielisellä puolella ja Tampere ruotsinkielisellä puolella.

Tämän julkaisun toteuttamisesta kiitämme artikkelien kirjoittajia ja julkaisun taittanutta Pyhäjoen lukiota. Julkaisun painatuksen ja taiton rahoituksesta kiitos kuuluu HIP:lle.