Kuplakammiofysiikasta Higgsin bosoniin

Suomalaisen kokeellisen hiukkasfysiikan
viisi ensimmäistä vuosikymmentä

Jorma Tuominiemi
Helsinki 2018

Kuplakammiofysiikasta Higgsin bosoniin

Suomalaisen kokeellisen hiukkasfysiikan
viisi ensimmäistä vuosikymmentä

Jorma Tuominiemi
Helsinki 2018

Kannen kuva:
CMS-detektorin mittaamasta tiedosta rekonstruoitu protoni-protoni-törmäys, jossa on syntynyt neljä suurenergistä myonia. Myonien radat on mitattu keskusratailmaisimen (lieriö) ja myoni-ilmaisimien (punaiset elementit) avulla. (Kuva CMS Collaboration)

Takakannen kuvat:
Harald Johnstad ja Jorma Tuominiemi valvomassa Scandinavian Collaboration – yhteistyöryhmittymän kuplakammiokokeen ajoa CERNissä v. 1967.
(Kuva Jorma Tuominiemi)

Tietokoneella rekonstruoitu kuva protoni-protoni-törmäyksestä, jossa on syntynyt Higgsin bosoni. Se on hajonnut kahteen fotoniin. Törmäys on rekisteröity Compact Muon Solenoid -koeasemalla CERNin LHC-törmäyttimellä v. 2012 ajossa.
(Kuva CMS Collaboration)

Julkaisija: Fysiikan tutkimuslaitos (HIP)
Taitto: Petteri Lauttamus
Kansi: Miura Merenmies-Tuominiemi
Paino: Painotalo Plus Digital, Lahti 2018
ISBN: 978-951-51-4758-5

Sisällysluettelo

Alkusanat 11

1. Alkuvaiheet. CERN ja pohjoismainen yhteistyö kuplakammiofysiikassa 15
   - 1.1. 1960-luvun alku: uusia aloitteita ydinfysiikassa 15
   - 1.2. CERN, European Laboratory of Particle Physics 19
   - 1.3. Kuplakammiokokeet 22
   - 1.4. Suomalaisen kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimusryhmän kokoaminen 1965 25
   - 1.5. Neuvottelut CERNin kanssa 1966–1967 31
   - 1.6. Scandinavian Collaboration, ensimmäiset kokeet 1966–1968 34
   - 1.7. Tietokoneongelmat ja mittaamisen pullonkaulat 38
   - 1.8. Uusi laitosrakennus v. 1969, Sweepnik ja PDP15 41
   - 1.9. Ensimmäiset väitöskirjat kokeellisessa alkeishiukkasfysiikassa Suomessa 1970–1978 44
   - 1.10. CERNin ja JINR:n kesäkoulu (CERN School of Physics) Suomessa v. 1970. Muita tieteellisiä kokouksia Suomessa 70-luvulla. 46
   - 1.11. O.V. Lounasmaan dilutiokryostaattiprojekti 49

2. Kuplakammiokokeet 1970-luvulla. Yhteistyö JINR:n kanssa. 50
   - 2.1. Yhteistyön käynnistäminen Dubnan Yhdistyneen Ydintutkimuslaitoksen (JINR) kanssa 1967–1973 50
   - 2.2. Dubna-yhteistyön tarvitsemat lisäresurssit 56
   - 2.3. Epävarmuutta Dubna-yhteistyössä 1973–1974 57
   - 2.4. Helsingin kokeellinen ryhmä 1970-luvun puolivälissä 61
   - 2.5. SEFT-hanke, SEFL ja YLT:n jako 1975–1978 63
   - 2.6. Johtajavierailuja 1979 67
   - 2.7. Uudet tutkimushankkeet CERNissä 1970-luvulla 68
   - 2.8. BEBC-kokeiden analyysi Helsingissä 1978–1984 71
   - 2.9. European Hybrid Spectrometer 1982–1986 73
   - 2.10. SEFLin johto vaihtuu 1979 75

3. 1980-luku, uusi aikakausi kokeellisessa hiukkasfysiikassa: kokonaan elektroniset kokeet 78
   - 3.1. JADE-koe DESY-laboratoriossa 1981–1985 78
   - 3.2. CERNin protoni-antiprotoni-törmäytin 78
   - 3.3. Underground Area -kokeet CERNin SPS-törmäyttimellä 1981–1984 82

3.4. Suomalaisen tutkimusryhmän liittyminen UA1-kokeeseen 1979 87
3.5. Välibosonien löytyminen 1982–1983 90
3.6. Nobelin palkinto v. 1984 Carlo Rubbia vierailee SEFLillä..... 101
3.7. UA-kokeiden jatko 1984–85, top-kvarkin etsintää ja monojettejä 103
3.8. Kokeellisen ydin- ja hiukkasfysiikan perustutkimuksen arviointi Suomessa v. 1985..... 105
3.9. UA-kokeiden toinen vaihe 1987–89, Higgsin hiukkasen etsintää..... 108
3.10. Helsingin ryhmä UA1-kokeen toisessa vaiheessa 1987–89 ja saavutetut tulokset..... 111
3.11. UA1-kokeiden rahoitus Suomessa..... 112
3.12. CERNin LEP-projekti alkaa v. 1981..... 116
3.13. SEFLin liittyminen LEP-projektiin v. 1984..... 119
3.14. DELPHI-koeasema LEP-törmäyttimellä 124

4. Suomen liittyminen CERNin jäseneksi..... 127
4.1. Kysymys Suomen CERN-jäsenyydestä nousi esille 1980-luvun alussa..... 127
4.2. Uusi sopimus CERN-yhteistyöstä v. 1985 133
4.3. Suurenergiafysiikan työryhmä v. 1987 135
4.4. Keskustelu jäsenyydestä jatkuu vilkkaana 137
4.5. Suomen liittyminen CERNin jäseneksi v. 1991 141
4.6. SEFT-työryhmä ja SEFTin perustaminen 1989–1990..... 148
4.7. TKK:n Hiukkasteknologian instituutti 1990–1996 151

5. Kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimushallinnon järjestelyt 1990-luvulla..... 153
5.1. SEFT 1990–1996, SEFTin toimintamallin ongelmat..... 153
5.2. SEFTin ja Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitoksen yhdistämishanke v. 1993 158
5.3. Kohti Fysiikan tutkimuslaitoksen perustamista..... 161
5.4. Fysiikan tutkimuslaitoksen perustaminen 1996..... 163
5.5. Ilmaisintyöryhmä 1996..... 166

6. LEP ja DELPHI-koe 1990-luvulla 168
6.1. SEFTin tutkimusryhmä DELPHI-kokeessa 1990–2000..... 168
6.2. Higgsin bosonin metsästys ja LEPin sulkeminen 1999–2000 169

7. CERNin LHC-projekti 173
7.1. Alkuvaiheet 1984–1990 173
7.2. LHC-kokeiden suunnittelu alkaa 176
7.3. RD5-koe SPS:llä 1992–1994 178
7.4. ECFAn LHC workshop Aachenissa v. 1990 179
7.5. LHC-koe-ehdotusten käsittely 1992–1993 180
7.6. Suomalaiset ryhmät LHC-kokeiden suunnittelussa 1990–1994 184
7.7. CMS Technical proposal 1994 CMS-kokeeseen osallistumisen laajeneminen 188
7.8. Kohti CMS Technical Design Report -vaihetta 1994–2000 192

8. NA52-koe CERNin SPS-kiihdyttimellä 1992–1999 196

9. Fysiikan tutkimuslaitos (HIP) 1996–1999 200
9.1. Tutkimuslaitoksen toiminnan alku 200
9.2. HIPin ensimmäisen tieteellisen neuvottelukunnan ja RECFAn vierailut Helsingissä 1997 202
9.3. LHC-kokeiden rahoituspäätökset Suomessa ja HIPin uusi asema v. 1998 205
9.4. Ilmaisinlaboratoriosuunnitelmien uudelleenarviointi 1998 206
9.5. Kokeellisen hiukkasfysiikan professuurin täyttö 1999 210
9.6. Tieteellisen neuvottelukunnan vierailu 1999 211
9.7. HIPin toiminnan uudelleenjärjestelyt, uusi johto, uusi SAB 212

10. Hiukkasfysiikan tapahtumia Suomessa 1998–1999 216
10.1. Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksen tutkijalinjan hiukkasfysiikan kesäkoulu 1998 216
10.2. EPS HEP -konferenssi Tampereella v. 1999 217

11. CMS-projektin rakennustyöt alkavat vuonna 2000 218
11.1. HIPin CMS Tracker -projekti 2000–2005 218
11.2. HIPin CMS Software and Physics -projekti 222
11.3. CERNin DataGrid-projekti ja Suomen liittyminen mukaan 225

12. HIP 2001–2003 228
12.1. HIPin toiminta vakiintuu, painopiste LHC-fysiikkaan 228
12.2. Suomen Akatemian järjestämä Suomen CERN-toiminnan evaluointi 2001 230

12.3. Etusuunnan fysiikan projektin arviointi ja HIPin osallistuminen Fermilabin kokeeseen 2001–2009 ... 232
12.4. Vierailuja CERNissä 2001–2003 ... 233
12.5. HIP, SAB ja RECFA Helsingissä 2002 ... 236
12.6. SAB ja RECFA Helsingissä 2003 ... 238

13. HIPin CMS-projektit koeaseman rakennusvaiheessa 2003–2008 ... 240
13.1. RPC-linkkiprojekti ... 240
13.2. CMS:n keskusratailmaisimen TOB-osan rakentaminen ja asennus 2005–2008 ... 241
13.3. FinnCRack-testipenkin rakentaminen 2004–2006 ... 248
13.4. Katse tulevaisuuteen: Säteilynkestävien pii-ilmaisimien kehitystyö ... 249
13.5. Fysiikan simulointi ja koetulosten analysointiin valmistautuminen 2003–2008 ... 251
13.6. HIPin Tracker-projekti: kohti LHC-kokeiden aloittamista 2007–2009 ... 255
13.7. HIPin CMS-projektin kolmas tukijalka: CMS-kokeen Grid-laskentajärjestelmän rakentaminen Helsinkiin 2001–2009 ... 257

14. Suomi-CERN-yhteistyöhön liittyviä tapahtumia ja vierailuja 2000–2012 ... 262

15. Uusi professuuri kokeellisessa hiukkasfysiikassa 2008 ... 267

16. Tieteellisen neuvottelukunnan suosituksia ja HIPin johtokunnan päätöksiä 2004–2012, RECFAn maavierailu 2010 ... 268

17. CERNin LHC-törmäyttimen rakennustyöt 2000–2009 ... 274

18. LHC-koeasemien rakentaminen käynnistyy v. 2001 ... 280
18.1. CMS:n hallinto järjestäytyy ... 280
18.2. CMS-koeaseman rakennustyöt 2001–2008 ... 282
18.3. TOTEM-kokeen asennustyöt 2006–2009 ... 289

19. LHC-kokeet alkavat – Run1 ... 293
19.1. LHC:n käynnistyminen 2008–2009 ... 293
19.2. TOTEM-kokeen ajot 2010–2012 ... 296
19.3. CMS-koe 2010–2011 ja valmistautuminen Higgsin hiukkasen metsästykseen ... 298

20. Vuoden 2012 ajo – Higgsin bosoni löytyy! 305
20.1. CMS-koe v. 2012 305
20.2. Palkintoja Higgsin bosonin löytämisestä 311
20.3. HIPin CMS-ryhmän uutta fysiikkaa koskevat tutkimukset Run1:n aikana 313

21. Kohti uusia kokeita Run1:n jälkeen 316

Epilogi 319

Tässä kirjassa käsiteltyjen tutkimushankkeiden aikajanat 321

Kokeellisen hiukkasfysiikan väitöskirjat Suomessa 1970–2017 322

Käytetyt lyhenteet 327

Lähteet ja viitteet 332

Henkilöhakemisto 340

Alkusanat

Kokeellinen alkeishiukkasfysiikka eli aineen perusrakenteen tutkimus muodostui omaksi fysiikan alakseen 1940-luvulla. Aluksi aineen perusrakennetta tutkittiin kosmisen säteilyn avulla ja sitten suurten kiihdyttimien avulla kiihdytinkeskuksissa, ensin lähinnä Yhdysvalloissa. Myös Euroopassa ja Neuvostoliitossa ala lähti alkuun 1950-luvulla. Euroopassa merkittävimmiksi tutkimuslaitoksiksi muodostuivat CERNin hiukkasfysiikan laboratorio Genevessä ja Deutsches Elektronen-Synchrotron -laboratorio (DESY) Hampurissa.

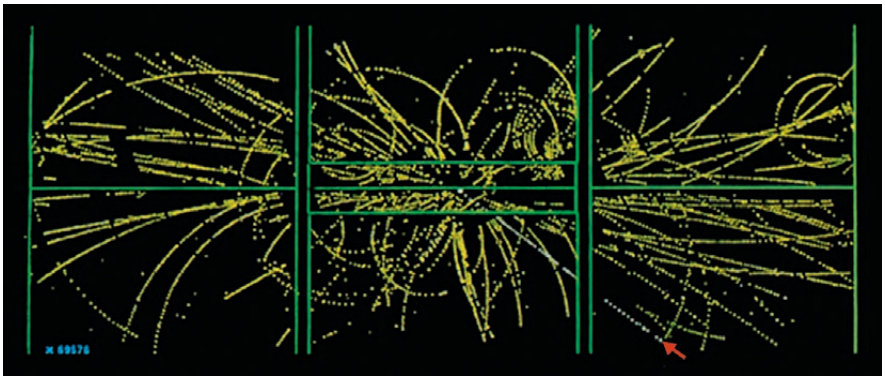
Suomessa alkeishiukkasfysiikan kokeellinen tutkimus aloitettiin tyhjästä vuonna 1965 Helsingin yliopiston Ydinfysiikan laitoksessa professori K.V. Laurikaisen toimesta. Suomalaisten kokeilijoitten tutkimustyö perustui aluksi hiukkaskokeisiin CERNissä ja laajeni sittemmin koskemaan myös kokeita Dubnan (JINR) ja Serpuhovin (IHEP) tutkimuslaitoksissa Neuvostoliitossa sekä Fermin kansallisessa laboratoriossa Yhdysvalloissa lähellä Chicagoa. Viimeisen vuosikymmenen aikana tutkimus on keskittynyt CERNiin, sen Large Hadron Collider (LHC) -tutkimusohjelmaan.

Kokeellinen alkeishiukkasfysiikka on puolen vuosisadan aikana kasvanut Suomessakin merkittäväksi fysiikan tutkimuksen haaraksi, vaikka akateemisten paikkojen määrä on edelleen pieni. Ala on kouluttanut suuren joukon fyysikoita, insinöörejä ja tietojenkäsittelyn asiantuntijoita myös muihin kuin akateemisiin tehtäviin Suomessa.

Pieni joukko tutkijoita on ollut aktiivisena toiminnassa mukana aivan alusta alkaen – nyt jo eläköityneenä. Olen heistä yksi. Kun eläkkeelle siirtymiseni alkoi lähestyä, alkoi mietityttää pitäisikö kirjoittaa jonkinlainen dokumentti alan vaiheista Suomessa viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana. Ajattelin, että sellainen olisi syytä laatia tässä vaiheessa, kun sen saattoi vielä kirjoittaa joku, joka on ollut alusta alkaen aktiivisesti mukana alan kehittämisessä. Niinpä tämän kirjan teksti syntyi eläkkeelle siirryttyäni.

Esitys ei ole muodolliset vaatimukset täyttävä historiikki, mutta toisaalta ei se ole ihan muistelmateoskaan. Se on jotain siltä väliltä, ehkä henkilökohtainen historiikki. Tämä lähestymistapa näkyy myös siinä, että olen lähinnä kirjoittanut tutkimushankkeista, joissa olen itse ollut aktiivisesti mukana. Näin pois on jäänyt suomalaiseen kokeelliseen hiukkasfysiikkaan liittyviä aktiviteetteja, joille varmasti löytyy kirjoittaja ennen pitkää.

Olen rajoittanut esitykseni päättymään vuoteen 2012, jolloin olin jo ollut eläkkeellä kaksi vuotta. Miksi tuo vuosi? Siksi, että se merkitsee minulle yhden henkilökohtaisesti tärkeän pitkän projektin päättymistä. CMS-koe, toinen pääkokeista CERNin Large Hadron Colliderilla, ideoitiin v. 1990. Pieni CERNin UA1-kokeessa mukana ollut tutkimusryhmä Helsingin yliopiston suurenergiafysiikan laitokselta oli alusta alkaen aktiivisesti mukana CMS-hankkeessa ja osallistui merkittävällä tavalla myös kokeen rakentamiseen, sen ajoihin LHC:llä ja fysiikan analyysiin.



UA1-koelaitteisto oli ensimmäinen täyden avaruuskulman kattava elektroninen koeasema. Sillä löydettiin W-j a Z-bosonit 1982-83. Keskusratailmaisimen antamassa kuvassa näkyvät protoni-antiprotonitörmäyksessä syntyneiden sähkövarauksellisten hiukkasten radat. Törmäyksessä on syntynyt W-bosoni. Sen hajoamisessa syntyneen elektronin rata on merkitty punaisella nuolella. (Kuva CERN 1983)

CMS-kokeen päätavoitteena oli aineen perusrakenteen standardimallin viimeisen havaitsematta olleen hiukkasen, Higgsin bosonin löytäminen. Hiukkanen löytyi v. 2012 kevään aikana LHC:n CMS- ja ATLAS-kokeissa. Vaikka olen vielä senkin jälkeen ollut CMS-kokeessa aktiivinen, panokseni tutkimukseen on ollut toisenlaista kuin se oli Higgsin hiukkasen löytymiseen asti.

Tuon fundamentaalisesti tärkeän tuloksen jälkeen CMS-koe ja hiukkasfysiikan tutkimus ovat Suomessa jatkuneet menestyksellisenä. Tutkimusta tekee nyt hyvin koulutettu ja innokas nuori polvi, jolla on lupaavat näkymät aineen perusrakenteen tutkimuksen jatkamisessa ainakin seuraavan parin kymmenen vuoden aikana. Varmasti joku sen edustaja aikanaan kokoaa kirjallisen esityksen tutkimuksen jatkosta.

Esitykseni perustuu saatavilla oleviin arkistolähteisiin ja asiakirjoihin, sekä omiin arkistoihini ja muistiinpanoihini. Käyttämäni lähteet on luetteloitu esityksen lopussa. Perusajatuksena on ollut, että ne ja tämä esitys voisivat muodostaa hyödyllisen aineiston tuleville aiheiseen liittyville tutkimuksille ja historiikeille. Luettelo tekstissä kuvatuista tutkimuksista ilmestyneistä tieteellisistä julkaisuista löytyy verkkosivulta http://inspirehep.net (High-Energy Physics Literature Database) käyttämällä haussa tekstissäni esiintyvien suomalaisten tutkijoiden nimiä. Julkaisuja on kertynyt yli kaksi tuhatta.

Olen kirjoittanut esitykseni lähinnä suomalaista fyysikkokuntaa ajatellen. Kun tekstillä voi olla kiinnostusta laajemminkin, olen kirjoittanut suomalaisen tutkimuksen kuvailun lomaan aihetta valaisevia tietopaketteja, jotka toivottavasti auttavat asiaan vähemmän perehtynyttä lukijaa. Kuva-aineisto on peräisin suomalaisten tutkimusryhmien arkistoista, CERNin kuva-arkistosta sekä omista kokoelmistani.

Esityksessäni kulkee rinnakkain kaksi tarinaa: fysiikka ja hallinto. Olen kirjoittanut ne niin, että tietyistä ajanjaksoista on erikseen kuvaukset fysiikan tutkimuksesta ja hallinnosta. Tämä aiheuttaa hyppyjä ajassa ja tuo mukanaan toistoa. Toivon, että se ei haittaa luettavuutta.

Kirjoitusurakassani olen saanut voimakasta rohkaisua ja tukea kollegoiltani professori emeritus Keijo Kajantieltä ja dosentti Mikko Sainiolta. Suuret kiitokset heille myös käsikirjoituksen luonnosten lukemisesta ja sitä koskevista arvokkaista kommenteista ja korjauksista. Kiitokseni menevät myös professori emeritus Paul Hoyerille, joka on lukenut osia kirjoituksestani ja antanut tärkeitä kommentteja. Etenkin alkuvaiheista olen voinut vaihtaa tietoja ja vaikutelmia myös professori emeritus Christofer Cronströmin kanssa. Ja sitten esitystä koostaessani olen saanut arvokasta apua CMS-tutkimusohjelman jäseniltä ja tutkijakollegoiltani TkT Tapio Lampénilta, FT Tomas Lindéniltä, DI Antti Onnelalta ja TkT Eija Tuomiselta sekä TOTEM-projektin johtajalta professori Kenneth Österbergiltä. Suuret kiitokset heille kaikille saamastani tärkeästä ja merkittävästä avusta ja kommenteista. Erityiset kiitokset osoitan vaimolleni, Miura Merenmies-Tuominiemelle, joka on tehnyt suururakan oikolukemalla ja editoimalla koko tekstin, suunnittelemalla kirjan ulkoasun ja ohjaamalla taiton.

Ja kuten tällaisten esitysten esipuheessa on aina syytä mainita, tekstissä esiintyvät tulkinnat ja virheet ovat luonnollisesti minun vastuullani.

Helsingissä, syyskuun 28. päivänä 2018,

Jorma Tuominiemi

1. Alkuvaiheet. CERN ja pohjoismainen yhteistyö kuplakammiofysiikassa

1.1. 1960-luvun alku: uusia aloitteita ydinfysiikassa

Turun yliopiston fysiikan apulaisprofessori Kalervo Vihtori Laurikainen nimitettiin v. 1960 Helsingin yliopistoon v. 1958 perustetun ydinfysiikan professuurin viranhaltijaksi. Samalla Helsingin yliopistoon perustettiin Ydinfysiikan laitos (YFL), joka aluksi sijoitettiin Siltavuorenpenkereelle Fysiikan laitoksen rakennuksen neljänteen kerrokseen, jonne oli rakennettu lisätiloja. Laurikainen oli teoreetikko ja hän aloitti ensin teoreettisen fysiikan tutkimuksen ja opetuksen järjestämisen Ydinfysiikan laitoksessa. Sen ohella hän käynnisti tunnustelut mahdollisuuksista kokeellisen ydinfysiikan tutkimuksen aloittamiseen laitoksessa yhteistyössä Fysiikan laitoksen kanssa. Fysiikan laitoksessa oli professori Lennart Simonsin johdolla rakennettu van de Graaff-kiihdytin, ja sen avulla tehdyssä ydinfysiikan tutkimuksessa oli koulutettu joukko nuoria kokeellisen ydinfysiikan tutkijoita. Heidän joukossaan syntyi ajatuksia rakentaa Suomeen modernimpi hiukkaskiihdytin ydinfysiikan tutkimusta varten. Laurikainen tarttui näihin pohdintoihin ja lähti tutkimaan modernin syklotronin rakentamista Helsingin yliopistoon. Hän palkkasi kaksi assistenttia tutkimaan Azimuthally Varying Field (AVF) -syklotronien ratateoriaa ja kiihdyttimien tuottamien hiukkassuihkujen optiikkaa. LuK Jorma Tuominiemen pro gradu -tutkielma hiukkassuihkujen optiikasta valmistui v. 1964 ja FM Timo Heiskanen aloitti väitöskirjan teon syklotronien ratateoriasta samoihin aikoihin. Heiskanen kuitenkin menehtyi auto-onnettomuudessa Kuopion ja Helsingin välillä v. 1965 ja työ jäi näin traagisesti kesken.

Helsingin yliopiston pieni konsistori oli Laurikaisen aloitteesta asettanut v. 1962 toimikunnan ”tutkimaan ydinfysiikan opetukseen ja tutkimukseen liittyviä kysymyksiä”. Komitean puheenjohtajana toimi professori Ernst Palmén ja jäseninä professorit Nils Fontell, Pekka Jauho (TKK), K.V. Laurikainen, Erkki Laurila (TKK) ja Lennart Simons, sihteeriksi oli pyydetty FL P. Kauranen. Komitean agendassa yhtenä tehtävänä oli pohtia suomalaisena ydinfysiikan tutkimuksen tarvitseman kokeellisen välineistön tarvetta ja sen hankintaan liittyviä seikkoja. Komitea tarkasteli useita eri kiihdytinvaihtoehtoja, mukaan lukien Laurikaisen ajamaa AVF-syklotronia. Komitea päätyi toteamaan, ettei sillä ollut asiantuntemusta tarkastella kiihdytinhanketta riittävän yksityiskohtaisesti ja jätti asian myöhempien selvitysten varaan. Hanke oli sittenkin vielä Suomessa taloudellisesti liian suuri ja toisaalta niin haasteellinen, että oli vaikeata saada siitä riittävää yksimielisyyttä fyysikoitten kesken. Meni kauan, ennen kuin Suomeen saatiin ensimmäinen syklotroni, sellainen käynnistyi Jyväskylän yliopistossa vasta v. 1974.

Palménin komitean asialistalla oli myös muita aiheita. Komitea päätyi yksimielisesti suosittelemaan tutkimuslaitoksen perustamista teoreettista fysiikkaa varten ja lisätilojen rakentamista Ydinfysiikan laitokselle. Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitos (TFT) aloittikin toimintansa syksyllä

K.V. Laurikainen 1960-luvulla

1964 ja Ydinfysiikan laitokselle valmistui uudisrakennus v. 1969 Siltavuorenpenkereelle.

Laurikainen alkoi tämän jälkeen tunnustella mahdollisuuksia kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimuksen aloittamiseen Suomessa. Hiukkasfysiikka oli 1940- ja 1950-lukujen kuluessa erottunut omaksi alakseen ydinfysiikasta ja maailmalla oli jo useita suuria tutkimuslaitoksia, joissa tehtiin sirontakokeita suurten hiukkaskiihdyttimien avulla. Euroopassa oli Geneven lähelle perustettu vuonna 1954 Euroopan ydintutkimusjärjestön (CERN) laboratorio, johon oli rakennettu kaksi suurta kiihdytintä, 700 MeV:n synkrosyklotroni (Synchrocylotron SC v. 1957) ja 25 GeV:n synkrotroni (Proton Synchrotron PS v. 1959). Synkrotroni oli saman tyyppinen kuin Brookhavenin kansalliseen laboratorioon (BNL) Yhdysvalloissa samoihin aikoihin rakennettu Alternating Gradient Synchrotron (AGS, 28 GeV). Hiukkasfysiikan kokeellista tutkimusta tehtiin tuolloin etupäässä kuplakammiomenetelmällä, jossa kuplakammioilla sirontareaktioista otettujen kuvien analyysiä tehtiin myös kokeisiin osallistuneisiin yliopistoihin hankituilla mittauslaitteilla. Laurikainen näki, että kuplakammiofysiikan aloittamiseen tarvittavat taloudelliset vaatimukset eivät olleet niin suuria kuin syklotronihankkeen.

Laurikainen oli myös havainnut, että teoreettisen fysiikan tutkijoiden keskuudessa Suomessa oli virinnyt kiinnostusta hiukkasfysiikkaan. Pekka Tarjanne, joka oli TKK:lla väitellyt ja Yhdysvalloissa työskennellyt ja ansioitunut hiukkasfyysikko, nimitettiin ensin Oulun yliopiston professoriksi 1965 ja sitten teoreettisen fysiikan vasta perustettuun professuuriin Helsingin yliopistossa 1967. CERNissä suomalaisista teoreetikoista ensimmäisinä työskentelivät Matts Roos 1965–67 CERN Fellow'na ja Keijo Kajantie 1966–67 suomalaisella ja osin CERNin rahoituksella. Kajantie oli ennen CERNiin siirtymistään tehnyt väitöskirjatyönsä teoreettisessa hiukkasfysiikassa Lundin yliopistossa 1963–64 kvanttielektrodynamiikasta. Laurikainen päätteli kirjoittamissaan muistioissa, että "hiukkasfysiikan teoreettisen tutkimuksen rinnalle oli syytä saada myös kokeellista tutkimustoimintaa, koska muuten oli pelättävissä, että teoreettinen tutkimus saisi liian formaalisen luonteen, ilman riittävää kosketusta ilmiömaailmaan". Hän ilmeisesti odotti, että saisi tälle hankkeelleen teoreetikoiden tukea.

Oli vielä yksi lisänäkökohta: Laurikainen oli heti virkaan astuttuaan kiinnittänyt huomiota tietokoneiden nopeasti kasvavaan tarpeeseen modernin fysiikan tutkimuksessa. Hän otti rohkeasti vastaan ruotsalaisen Wenner Gren -säätiön tarjoamana lahjoituksena Wegematic 1000 -tietokoneen. Kyseessä oli vielä kapasiteetiltaan vaatimaton tietokone, mutta sillä tehtiin YFL:ssa jonkin verran kahden nukleonin vuorovaikutukseen liittyviä tutkimuksia, joita Laurikainen itse teki. Samalla aloitettiin tietokoneitten ohjelmoinnin opetus

YFL:ssa (*Cronström, Arkhimedes 4/2007*) ja perustettiin Laurikaisen aloitteesta Ydinfysiikan laskentatoimisto (YLT) konsistorin alaiseksi erillislaitokseksi. Kun kokeellinen hiukkasfysiikka oli jo tuolloin yksi aktiivisesti tietokoneita käyttävistä fysiikan tutkimusaloista, YLT sopi hyvin Laurikaisen piirustuksiin kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimuksen aloittamisesta.

Laurikainen tutustui pohjoismaisiin kokeellisen hiukkasfysiikan hankkeisiin ja oli yhteydessä erityisesti Tukholman yliopiston professori Gösta Ekspongiin, joka oli perustanut oman tutkimusryhmän vuonna 1960. Tukholman tutkimusryhmä osallistui CERNissä 80 cm:n kuplakammiolla ja kaonisuihkulla (K^+) tehtyyn kokeeseen, jossa otettuja filmejä mitattiin Tukholmassa sinne hankituilla ENETRA-laitteistoilla. Laurikaisella oli myös hyvät suhteet Lundin yliopiston professoriin Torsten Gustafssoniin. Hän oli Gustafssonin johdolla tehnyt väitöskirjan Lundissa 1948–50 sähkömagneettisen kentän gravitaatioenergiasta. Laurikainen vieraili 1960-luvun alussa Lundissa Gustafssonin vieraana. Gustafsson oli vaikutusvaltainen henkilö, joka tunsi laajalti tutkijoita ja yhteiskunnallisia vaikuttajia. Hänen neuvonsa vaikuttivat Laurikaisen valintoihin uusiin hankkeisiin ryhtymisessä.

Keväällä 1964 Laurikainen lähetti oppilaansa FL Christofer Cronströmin Tukholmaan tutustumaan Ekspongin ryhmän toimintaan ja selvittämään mahdollisuuksia aloittaa kuplakammiofysiikan tutkimustoiminta YFL:ssä. Selvitystyö liittyi erityisesti siihen, oliko Wegematic 1000 riittävän nopea ja monipuolinen tietokone kuplakammiokuvien analysointiin. Ekspong opasti Cronströmin oppilaansa, Tukholman ryhmän kuplakammioryhmän jäsenen, Dr. Pehr Sällströmin puheille. Sällström oli käynyt esitelmöimässä Helsingissä 16.–20.8.1963 kuplakammiokuvien analysoinnista Nordsam 63 -nimisessä tietokonesovellusten kokouksessa. Cronström oli osallistunut konferenssiin YLT:n edustajana, mutta ei ollut vielä tutustunut Sällströmiin. Cronströmillä oli jo Tukholmaan mennessään epäilyksensä Wegematicin kapasiteetin (nopeus, muistitila) riittävyydestä kuplakammiofilmien analyysiin. Wegematicin ohjelmointi tehtiin konekielellä, mikä vaativien ohjelmistojen kanssa oli merkittävä hankaluus. Sällström vahvisti, ettei Wegematic soveltunut kuplakammiofysiikan käyttöön. Cronström perehtyi Tukholmassa myös kuplakammiokuvien mittaukseen ja totesi, että mittauslaitteiden operointiin tarvittaisiin huomattava määrä tutkimusapulaisia. Palattuaan vähän alle viikon pituiselta matkaltaan Cronström raportoi selvityksestään Laurikaiselle. Tällä oli siten vuoden 1964 keväällä hyvin realistinen kuva siitä, mitä toiminnan aloittaminen vaatisi.

Kokeellinen hiukkasfysiikan tutkimus edellytti suhteitten luomista Euroopan ydintutkimuskeskukseen CERNiin ja liittymistä johonkin kansainväliseen kokeita CERNissä tekevään yhteistyöhankkeeseen. Toukokuussa v. 1964 Suomen Fyysikkoseura oli tehnyt aloitteen suhteiden solmimisesta CERNin kanssa. Ajatuksena oli observer-status CERNissä, jollainen oli muutamalla Euroopan maalla, joille täysjäsenyys ei vielä ollut realistista vähäisen

kotimaisen hiukkasfysiikan tutkimuksen vuoksi. Syksyllä 1964 Genevessä oleva Suomen pysyvä edustusto laati kirjelmän Opetusministeriölle, jossa selvitettiin mahdollisuuksia yhteistyösuhteiden solmimiseen CERNin kanssa. Fyysikkoseura katsoi lausunnossaan ko. kirjeestä, ettei täysi jäsenyys lähivuosina olisi ajankohtainen varsinkaan, kun samaan aikaan oli esillä myös pohjoismainen kiihdytinprojekti. Sen sijaan seura uudisti esityksensä siitä, että Suomen tulisi pyrkiä observer-jäseneksi. Asia edistyi vitkaan. Kauppa- ja teollisuusministeriöltä asiasta pyydetty lausunto tuli vasta puolen vuoden kuluttua. Siinä Suomen observer-asemaan CERNissä suhtauduttiin periaatteessa kielteisesti.

Toukokuussa 1965 Fyysikkoseura teki uuden esityksen tunnustelujen jatkamisesta observer-statuksesta. Tämä johtui yksityisiä kanavia pitkin saaduista tiedoista CERNin johdon positiivisesta suhtautumisesta ajatuksiin Suomen observer-asemasta. Opetusministeriö otti uudelleen yhteyttä Suomen pysyvään edustustoon Genevessä ja pyysi selvittämään asiaa CERNin johdon kanssa. Tämä vaihe kesti taaskin kauan, sillä CERNin johto oli vaihtunut ja uusi johto oli ottanut kielteisen kannan uusien observer-jäsenien ottamiseen. CERNin johto suhtautui muuten positiivisesti yhteistyöhön suomalaisten hiukkasfyysikoitten kanssa. Tämän tietäen Laurikainen oli jo alkanut hankkia kuplakammiofilmien analysointiin tarvittavaa laitteistoa YFL:lle. Ensimmäinen laite oli ranskalainen SOM ENETRA 114, kuplakammiokuvien manuaalinen mittauslaite, jonkalainen oli jo Tukholman ja Oslon yliopistojen fysiikan laitoksissa. Helsingin yliopiston johto oli suhtautunut positiivisesti Laurikaisen hankkeeseen, ja YFL oli saanut luvan laitteen tilaamiseen jo keväällä 1964. Hankinta kustannettiin laitoksen perushankintamäärärahoilla. ENETRA oli tarkoitus asentaa Siltavuorenpenkereelle suunniteltuun uuteen laitosrakennukseen. Uudisrakennusprojekti oli kuitenkin vasta valmisteluvaiheessa, joten toiminnalle oli löydettävä väliaikaiset tilat. Yliopisto osoitti YFL:lle tilat vanhasta kiinteistöstään Meritullinkatu 4:ssä, jossa näin aloitti toimintansa ydinfysiikan laitoksen kokeellinen osasto. Rakennus oli hyvin huonossa kunnossa – se oli määrätty purettavaksi. Tilat sijaitsivat toisessa kerroksessa. Porraskäytävän katto oli tuettu puulankuilla eikä kiinteistössä ollut esimerkiksi keskuslämmitystä, vaan siivoojat lämmittivät tilat aamuisin kaakeliuuneilla.

Ranskalaiset SOM:n asentajat saapuivat Helsinkiin ja aloittivat ENETRAn asennustyöt 29.9.1965. Tullessaan Meritullinkadulle he tarkastelivat huolestuneina porraskäytävän seinien tukirakenteita ja halkeamia ja kyselivät meiltä, kestävätköhän rakenteet varmasti ENETRAn painoa. Lisäksi rakennuksen piti olla tarpeeksi stabiili, mittauslaite oli tarkkuusoptinen aparaatti. Vakuutimme, että kyllä kestää – mitäpä muutakaan saatoimme sanoa. Ydinfysiikan laitoksen henkilökunnasta diplomi-insinöörit Juhani Savolainen ja Erkki Pajanne toimivat asennuksessa tulkkeina, FM Esa Riipinen teknisenä asiantuntijana. Asennukset sujuivat hyvin ja ENETRA käynnistyi 13.10.1965.

1.2. CERN, European Laboratory of Particle Physics

CERN perustettiin v. 1954 eurooppalaiseksi ydinfysiikan tutkimusjärjestöksi. Hiukkasfysiikan tutkimus suurilla hiukkaskiihdyttimillä oli alkanut Yhdysvalloissa 1940-luvun lopussa. Euroopassa tällaisten laitteiden rakentaminen oli mahdollista vain yhdistämällä Euroopan maiden resursseja yhteiseen tutkimuskeskukseen. Joukko merkittäviä fyysikoita ja diplomaatteja oli jo 1940-luvun lopulta lähtien ajanut amerikkalaisen Brookhavenin kansallisen laboratorion (BNL) kaltaisen kiihdytinkeskuksen perustamista Eurooppaan. Ajatuksena oli edesauttaa eurooppalaista tiedettä nousemaan uudelleen kansainväliselle tasolle toisen maailmansodan jälkeen. YK:n kulttuurijärjestö UNESCO otti hankkeen siipiensä suojaan ja v. 1951 pidetyssä UNESCOn kokouksessa syntyi päätös perustaa komitea ”Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire” eurooppalaisen hiukkasfysiikan tutkimuskeskuksen perustamista varten. Kyseessä oli suunnitellun ydintutkimusjärjestön väliaikainen johtokunta, Neuvosto, johon kuului tuolloin 11 maata. Neuvoston nimestä syntyi akronyymi CERN, joka nykyään tarkoittaa itse tutkimusjärjestöä ”European Organization for Nuclear Research” (Euroopan ydintutkimusjärjestö). Väliaikainen Neuvosto päätti v. 1952 CERNin tutkimuskeskuksen perustamisesta Sveitsiin, Geneven kaupungin lähelle. Sopimus keskuksen rakentamisesta tehtiin kesällä 1953 ja sen ratifiointi jäsenmaissa saatiin päätökseen 29.10.1954, jolloin CERN oli syntynyt järjestönä muodollisesti. Perustajajäseninä olivat Belgia, Britannia, Hollanti, Italia, Jugoslavia, Kreikka, Norja, Ranska, Ruotsi, Saksan Liittotasavalta, Sveitsi ja Tanska. Väliaikainen Neuvosto lopetettiin, mutta nimilyhennys säilyi järjestön nimenä ja sitä käytetään myös kuvaamaan Geneven tutkimuslaitosta. Kun CERNin tutkimus nykyisin koskee ydintä pienempiä aineen perusosasia, Geneven laboratoriota kutsutaan myös nimellä ”European Laboratory for Particle Physics” (Euroopan hiukkasfysiikan laboratorio).

CERNin ensimmäinen hiukkaskiihdytin, 600 MeV:n*) synkrosyklotroni valmistui 1957. Se toimi aina vuoteen 1990 asti. CERNin 28 GeV:n protonisynkrotroni (PS) käynnistyi v. 1959, samana vuonna kuin Brookhavenin 30 GeV:n vastaavanlainen laite (AGS). Molempien kiihdyttimien taivutusmagneeteissa sovellettiin jo 1950-luvulla kehitettyä Alternating Gradient focusing -tekniikkaa. PS on edelleen toiminnassa osana CERNin kiihdytinjärjestelmää. CERNin seuraava kiihdytin oli 30 + 30 GeV:n protoni-protoni-törmäytin Intersecting Storage Ring (ISR), joka käynnistyi v. 1971. Seuraavaksi valmistui 370 GeV:n Super Proton Synchrotron v. 1975. Se toimi vv. 1981–1989 myös antiprotoni-protoni-törmäyttimenä. Seuraavan kiihdyttimen, elektroni-positroni-törmäyttimen (Large Electron Positron collider, LEP) rakennus-

*) *Elektronivoltti (eV) on hiukkasfysiikassa käytetty energian yksikkö (1,602 x 10^{-19} Joulea). TeV = 10^{12} eV. Liikemäärän yksikkö on eV/c ja massan eV/c^2, c on valon nopeus.*

CERN 1960-luvun puolivälissä, lännestä kuvattuna. Kuvan oikeassa reunassa PS-kiihdyttimen rengas. Sen tangentin suuntaisena oleva korkea rakennus on East Hall, johon CERNin 2 metrin kuplakammio oli sijoitettu. Geneven ja Ranskan välinen raja kulkee kuvan alalaidassa olevien peltoalueiden reunassa. Taustalla näkyy Salève-vuori ja Geneven eteläisiä esikaupunkeja. (Kuva CERN)

työt aloitettiin v. 1984 ja laite käynnistyi v. 1989. Se toimi vuoteen 2000 asti. Uusin kiihdytin, 14 TeV:n protoni-protonitörmäytin LHC (Large Hadron Collider), käynnistyi v. 2009.

CERNin päätehtävänä on rakentaa, kehittää ja ylläpitää suuria hiukkaskiihdyttimiä hiukkasfyysikoitten käyttöön. Samalla se tekee tutkimus- ja kehitystyötä hiukkasilmaisimien (säteilyn ilmaisimien) ja uusien kiihdyttimien rakentamiseksi sekä niiden soveltamiseksi muille aloille, esim. lääketieteeseen. Tietotekniikalla on merkittävä osa hiukkasfysiikan tutkimuksessa, World Wide Web syntyi CERNissä v. 1989 ensin hiukkasfysiikan tutkijoitten keskinäiseksi kommunikaatiovälineeksi. CERNin vuosibudjetti on nykyään n. miljardi euroa ja pysyvää henkilökuntaa n. 2500.

Suuret koelaitteistot kiihdyttimien yhteyteen rakennetaan nykyään CERNiin hiukkasfysiikan tutkimusta tekevien yliopistojen ja tutkimuslaitosten toimesta ja niiden yhteisellä rahoituksella. CERN on itse yleensä yksi yhteistyöhankkeiden jäsenistä. Hankkeiden vastuista ja rakennuskustannuksista sovitaan Memorandum of Understanding -asiakirjoilla. Kansainvälisten yhteistyöryhmittymien esitykset tutkimushankkeista CERNin kiihdyttimillä käsitellään CERNin tieteellisissä komiteoissa, joiden jäseniksi kutsutaan hiukkasfysiikan tutkimuksessa aktiivisesti toimivia fyysikoita. Vertaisarvioinnissa hankkeiden tieteelliset tavoitteet arvioidaan, rahoitus- ja henkilöstösuunnitelmat tarkistetaan. Komiteat tekevät niiden perusteella suositukset CERNin johdolle. Lopullinen päätös kokeiden hyväksymisestä CERNin tutkimusohjelmaan tapahtuu Research Boardissa, johon kuuluvat CERNin johtoryhmän lisäksi kaikkien CERNin osastojen johtajat ja koordinaattorit. CERNin johto laatii ajoittain lyhyen ja pitkän tähtäimen tutkimussuunnitelmat CERNin Neuvostolle, joka on laitoksen ylin päättävä elin. Neuvosto koostuu kunkin jäsen maan kahdesta edustajasta, joista toinen on yleensä tiedehallinnon edustaja ja toinen seniorifyysikko. Nykyään pitkän tähtäimen ohjelman nimi on ”European High Energy Physics Strategy”, joka laaditaan noin kuuden vuoden jaksoissa. Strategia valmistellaan prosessissa, johon osallistuvat kaikkien jäsenmaiden aktiiviset tutkijat.

Suomalaisten tutkijoiden aloittaessa tutkimustyönsä CERNissä v. 1966 jäsenmaita oli 14. CERNin henkilökuntaan kuului 1860 henkilöä ja siellä työskenteli eri pituisissa jaksoissa 250 tutkijaa lähinnä eurooppalaisista yliopistoista ja tutkimuslaitoksista. Myös amerikkalaiset fyysikot olivat näkyvästi mukana. Silloin kokeiden pääinstrumentteina olivat elektroniset hiukkasilmaisimet, kipinäkammiot ja kuplakammiot. Kokeiden analysointiin osallistui kotiyliopistoissaan ja tutkimuslaitoksissaan noin 500 fyysikkoa. Suomi liittyi CERNin jäseneksi v. 1991.

Vuonna 2017 noin 12 000 tutkijaa teki tutkimustyötä CERNissä, oleskellen siellä hankkeiden tilanteen ja edistymisen mukaan viikoista aina vuosiin saakka. Rahoituksen hoitavat eri maiden omat instituutit. Suuri osa rakennustöistä ja kokeista kerätyn datan analyysista tapahtuu osallistujainstituuteissa.

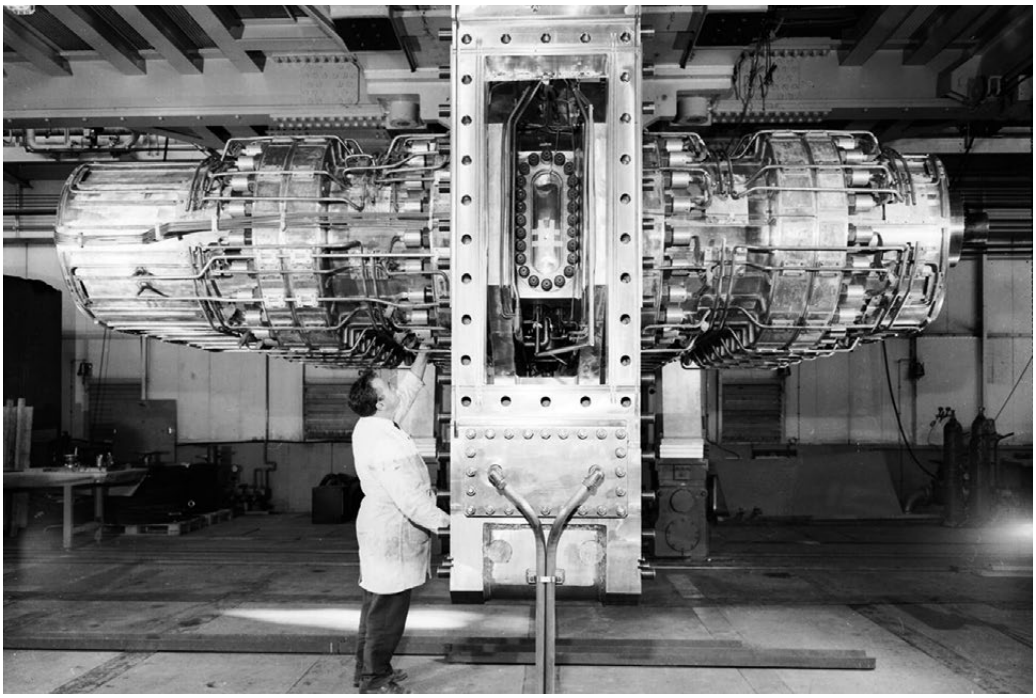
CERNin jäsenmaat v. 2017 olivat Belgia, Britannia, Bulgaria, Espanja, Hollanti, Italia, Itävalta, Israel, Kreikka, Norja, Portugal, Puola, Ranska, Romania, Ruotsi, Saksan Liittotasavalta, Slovakia, Suomi, Sveitsi, Tanska, Tsekki, Unkari. Lisäksi liittymisputkessa CERNin jäsenmaaksi olivat Kypros, Serbia ja Slovenia sekä assosioituja jäsen maita Turkki, Pakistan, Ukraina ja Intia. CERNin vuosibudjetti oli 2012 900 milj. Sveitsin frangia (CHF). Jäsenmaat jakavat sen suhteessa bruttokansantuotteeseensa. Suomen osuus v. 2012 oli 1,4 %.

1.3. Kuplakammiokokeet

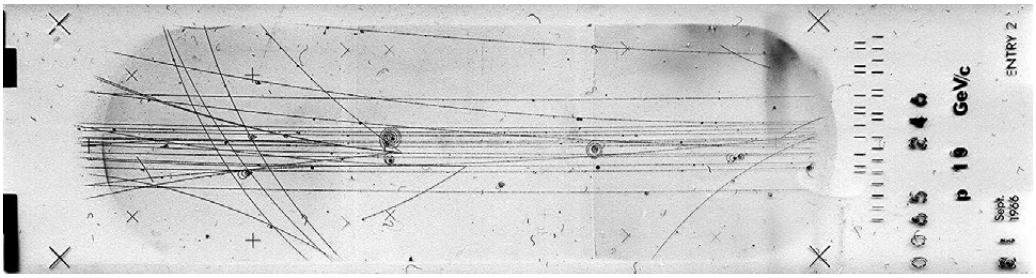
Hiukkasfysiikan kokeellista tutkimusta tehtiin 1960-luvulla pääasiassa kahdella menetelmällä. Subatomaaristen hiukkasten sähköisten ja heikkojen vuorovaikutusten tutkimusta tehtiin etupäässä elektronisten hiukkasilmaisimien avulla. Näitä olivat mm. verrannollisuuslaskurit, tuikeilmaisimet ja kipinäkammiot. Näissä kokeissa tutkittiin tavallisesti hiukkasreaktioita, joissa oli lopputilassa vain kaksi hiukkasta tai sitten mitattiin vain yhden syntyneen hiukkasen ominaisuuksia. Toisena päämenetelmänä olivat kuplakammiokokeet. Ne olivat aluksi keskittyneet vahvan vuorovaikutuksen aiheuttamien reaktioiden tutkimukseen ja niissä voitiin helposti tutkia reaktioita, joissa oli lopputilassa useita hiukkasia. Kuplakammiokokeet tulivat päätutkimusmenetelmäksi 1960-ja 1970-luvuilla.

Kuplakammion kehitti 1950-luvun alussa amerikkalainen fyysikko Donald Glaser korvaamaan Wilsonin sumukammion, jota oli käytetty siihen asti kosmisten säteiden aiheuttamien alkeishiukkasreaktioiden tutkimiseen. Kuplakammio oli nopeampi ja tarkempi kuin sumukammio, joten se sopi paremmin hiukkaskiihdyttimillä tuotettujen hiukkasreaktioiden rekisteröintiin. Menetelmä perustuu nesteen paineen nopeaan alentamiseen, jolloin faasinmuodostus nesteestä kaasuksi käynnistyy. Paineen alennus tapahtuu kammioon asennetun männän avulla. Kaasunmuodostus ei kuitenkaan täysin puhtaassa nesteessä käynnisty heti. Kuplakammiossa nesteen läpi kulkevat sähkövaraukselliset hiukkaset ionisoivat sen atomeja, jotka tarjoavat siemenet kuplanmuodostukselle. Kuplien annetaan kasvaa niin suuriksi, että ne voidaan valokuvata. Kuplajonot antavat näin hiukkasten radat. Kuplakammio asetetaan kiihdyttimestä ohjatun hiukkassuihkun tielle, jolloin suihkun hiukkaset ajoittain vuorovaikuttavat vahvan vuorovaikutuksen välityksellä kammionesteen atomiytimien kanssa. Kammio toimii siis myös sirontakohtiona. Valokuvauksen jälkeen paine palautetaan nopeasti, jolloin kiehuminen päättyy ja kammio on valmis uudelle kiihdyttimen hiukkaspulssille. Kuplakammion tyypillinen toimintajakso on 100–200 ms, sopiva silloisten kiihdyttimien hiukkaspulssien taajuudelle.

Glaser sai Nobelin fysiikan palkinnon keksinnöstään vuonna 1960. Glaser innosti Luis Alvarezin Kalifornian yliopistosta (Berkeley) kehittämään menetelmää edelleen. Alvarez huomasi, että ideaalisin kuplakammion täyteaine hiukkaskokeisiin oli nestemäinen vety, sillä siinä törmäyskohtioina olivat protonit, joiden rakennetta haluttiin tutkia. Alvarez rakensi ryhmineen yhä suurempia kammioita, suurimmissa niistä hiukkassuihkun kulkumatka oli jo lähes kaksi metriä. Hänen tutkimusryhmänsä tekikin 1950-luvun lopulla ja 60-luvulla uraauurtavaa tutkimusta Brookhavenin AGS-kiihdyttimellä. Kokeissa löydettiin suuri joukko uusia, epästabiileja nopeasti hajoavia hiukkasia, joille annettiin nimi resonanssihiukkaset. Käänteentekevintä oli Omega-hiukkasen löytäminen vuonna 1964 BNL:n 72 tuuman kuplakam-

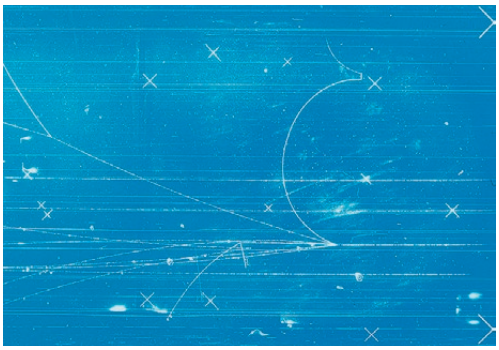


CERNin 2 m kuplakammio. Kuvassa keskellä näkyy metalli-ikkuna, josta hiukkassuihku suunnataan kammion sisään (kohtisuorasti kuvan tasoa vastaan). Rakennelmat sivuilla ovat osa jäähdytys- ja valokuvausjärjestelmää. (Kuva CERN).



Pätkä CERNin 2 metrin kammiossa otettua filmiä. Filmin leveys on 35 mm. (Kuva CERN)

miolla. Hiukkasen olemassaolon oli juuri ennustanut Murray Gell-Mann CALTECHista alkeishiukkasille kehittämänsä ”Eigtfold way” SU3-symmetrian perusteella. Luis Alvarez sai Nobelin fysiikan palkinnon työstään kuplakammioiden ja niillä tehtävien kokeiden kehittäjänä vuonna 1968 ja Gell-Mann teorioistaan aineen perusrakenteen selvittämisessä vuonna 1969. CERNissä kuplakammiotutkimus oli saatu käyntiin 1960-luvun alussa. Vuonna 1966 valmistui ja käynnistettiin kahden metrin kuplakammio, joka oli jo kilpailukykyinen amerikkalaisten laitteiden kanssa.



Vasemmalla yksityiskohta CERNin 2 m kammiosta otetusta kuvasta, jossa näkyvät oikealta tulevan 19 GeV:n protonisuihkun hiukkasten jäljet. Yksi suihkun hiukkasista on vuorovaikuttanut kammionesteen vetyatomin ytimen, protonin kanssa. Ylös oikealle kaartuva rata on pionin aiheuttama. Sen voi tunnistaa sen hajoamisesta myoniksi, joka hajoaa edelleen välittömästi elektroniksi. Kuvassa näkyvät ristit ovat kammion seinissä olevia kiintopisteitä, joiden avulla törmäyksen ja ratojen paikat saadaan tarkasti määrättyä. Oikealla filmirullia 2 m kammiolla tehdyistä kokeista. (Kuva CERN).

Kuplakammiokuvat sirontareaktioista mitattiin optisilla projektoreilla, ensin 1960-luvulla manuaalisesti projisioimalla kuvat lasinäytölle ja siirtämällä mittauspistettä pitkin hiukkasten ratoja kuvaavia kuplajonoja. Laite rekisteröi mittauspisteiden paikat yhdessä dimensiossa kuplakammion seiniin uurrettujen kiintopisteitten suhteen. Kameroita kokeissa oli kolme eri suunnista kuvaamassa, joten yhdistämällä mittaukset saatiin kolmiulotteinen tieto hiukkasten radoista. Yleensä kuplakammio oli sijoitettu homogeeniseen magneettikenttään, jolloin hiukkasten ratojen kaarevuudesta voitiin määrittää niiden liikemäärä. Hiukkasten ionisaation määrästä voitiin saada mittaus niiden nopeudesta, tosin vain noin 1 GeV:n energioihin asti.

Mittausten analysointiin oli kehitetty tietokoneohjelmia, joista CERNissä THRESH-ohjelmalla tehtiin edellä mainittu kolmiulotteinen rekonstruktio hiukkasten radoista. Analyysin seuraavassa vaiheessa kokeiltiin tilastollisesti erilaisia hypoteeseja siitä, mitä hiukkasia sirontareaktiossa oli syntynyt. Kun tunnettiin kiihdyttimestä tuleva hiukkanen ja sen liikemäärä, voitiin laatia kaikki mahdolliset hypoteesit tapahtumalle käyttäen hiukkasten kvanttilukujen säilymislakeja. Kun tunnettiin ammushiukkasen liikemäärä ja energia ja lopputilaan syntyneiden hiukkasten liikemäärät, voitiin energian ja liikemäärän säilymislakeja eli neljää sidosehtoa käyttäen laskea todennäköisyys sille, että tietty hypoteesi vastasi tapahtunutta. Jokaisesta sovituksesta laskettiin sen maximum-likelihood-arvo ja paras sovitus valittiin sirontareaktion tulkinnaksi. Hypoteeseille, joissa lopputilan hiukkasista yksi tai useampi oli sähköisesti neutraali, jolloin se ei näkynyt kuplakammiokuvassa, oli käytettävissä vain yksi sidosehto. CERNissä tätä ”kinemaattista sovitusta” varten kehitetty ohjelma oli nimeltään GRIND. Kustakin törmäystapahtumasta saatiin siis sen tulkinta.

Tieto tallennettiin magneettinauhoille ja tiedostosta käytettiin nimeä Data Summary Tape (DST). Nykyään vastaavaa tiedostoa kutsutaan esimerkiksi nimellä ”Analysis Object Data”(AOD), koska se yleensä tallennetaan ensin levytiedostoihin. Kuplakammiokokeessa tapahtumia tallennettiin satoja tuhansia. Sirontareaktion lopputilalle laskettiin sitten erilaisten fysikaalisten muuttujien jakautumia, joiden avulla voitiin tutkia törmäyksen dynamiikkaa ja resonanssihiukkasten syntymistä. Tämä analyysivaihe on samanlainen nykyisessä hiukkasreaktioiden tutkimuksessa, vain kokeellinen mittausmenetelmä on vaihtunut tehokkaammaksi ja rekisteröityjen törmäysten määrä on huimasti suurempi – siitä enemmän tuonnempana.

1.4. Suomalaisen kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimusryhmän kokoaminen 1965

Tärkeänä vaiheena kokeellisen toiminnan käynnistämiseen oli uuden tutkimusryhmän koulutus. Minkäänlaista opetusta hiukkasfysiikassa ei Suomessa vielä ollut, joten kaikki mukaan pestatut oli koulutettava perusteista alkaen.

Professori Laurikainen oli alkanut koota kokeellista tutkimusryhmää jo vuoden v. 1965 alussa. Ryhmään värvättiin nuoria maistereita ja opiskelijoita, Markku Kaartinen, Veikko Karimäki, Maire Kiikka, Petri Laurikainen, Jaakko Mäkelä, Pentti Paatero, Risto Raitio, Esa Riipinen, Heimo Saarikko ja Heimo Villanen. Olin juuri päättänyt varusmiespalvelukseni toukokuussa 1965 ja kävin Laurikaisen puheilla jatko-opiskelua koskevissa asioissa useaan otteeseen. Olin ollut hänen opiskelijansa ennen varusmiespalvelua ja tehnyt pro gradu -tutkielmani hiukkassuihkujen optiikasta. Laurikainen halusi minut mukaan uuteen tutkimusryhmään ja aloittamaan jatko-opintoni kokeellisessa hiukkasfysiikassa. Olin jo lukiossa ollut kiinnostunut modernista fysiikasta ja lukenut paljon sitä koskevia yleistajuisia kirjoja ja artikkeleita, joten olin innokas lähtemään mukaan. YFL:n tutkimusryhmä aloitti perehtymisen kuplakammiofysiikkaan tyhjästä, omin voimin. CERNistä hankittiin tarvittavaa aineistoa ja tietokoneohjelmia, joita tarvittiin kuvien analysoinnissa. Mitään oppikirjoja aiheesta ei vielä ollut. Apua saatiin myös skandinaavisilta ryhmiltä.

Koska olin pidemmällä opinnoissani (maisteri v. 1964) kuin muut ryhmän jäsenet, ehdotti Laurikainen, että menisin hakemaan oppia Tukholman ryhmässä. Tätä varten hän hankki rahoituksen Valtion luonnontieteelliseltä toimikunnalta (VLTK) vuodeksi 1966. Tässä vaiheessa dos. Matts Roos, joka tuolloin työskenteli CERNissä, puuttui asiaan ja ehdotti Laurikaiselle, että Tuominiemi lähetettäisiin CERNiin, jossa oli paljon paremmat mahdollisuudet alan opintoihin ja tutkimuslaitteisiin perehtymiseen. Laurikainen otti neuvosta vaarin ja lähetti minut CERNiin vuodeksi. VLTK:n rahoitus saatiin kohdennetuksi CERNissä työskentelyä varten. Siirryin CERNiin kesäkuun alussa 1966. Olin tätä ennen osallistunut Pohjoismaiseen hiukkasfysiikan

kouluun Spåtindissa Norjassa ja juuri ennen CERNiin siirtymistä CERNin hiukkasfysiikan kesäkouluun Hollannin Noordwijkissa, joten minulla oli jotain pohjaa tutkimustyön aloittamiseen.

CERNissä päädyin Track Chambers osaston varajohtajan Dr. Rafael Armenteroksen hoiviin, hän tutustutti minut osaston tutkimustoimintaan. Saatoin itse valita, mihin tutkimusryhmään liityin. Valitsin Dr. Yves Goldschmidt-Clermontin johtaman ryhmän – ehkä Yves ja ryhmän jäsenet tuntuivat mukavimmilta. Aloin tutustua kuplakammiokokeisiin, meneillään oli tuolloin CERNin 2 metrin kuplakammiossa 5 GeV:n K^+-suihkussa tehdyn kokeen analyysi. Yves ohjasi minut ensin oppimaan aiheesta armenialaisen Ilja Bunyatovin opastuksella. Bunyatov oli vierailija Dubnan tutkimuslaitoksesta Neuvostoliitossa ja oli tuolloin tekemässä tutkimusta CERNissä. Koulutus eteni tehokkaasti, elokuussa osallistuin Goldschmidt-Clermontin ryhmän kanssa K^+-suihkulla tehtyyn kuplakammiokokeeseen CERNissä. Tutkimuksesta K^+-kokeessa syntyi ensimmäinen tieteellinen julkaisuni ”Observation of the reaction K^+p -> pp(antiΛ)” (Il Nuovo Cimento, vol. 48, pp. 589-591, maaliskuu 1967). Vuonna 1966 CERNissä oli toiminnassa v. 1957 käynnistynyt synkrosyklotroni ja v. 1959 valmistunut 25 GeV:n synkrotroni (PS). ISR-törmäyttimen rakentamista oltiin aloittamassa.

Seurasin myös Helsingin ryhmän toimintaa CERNistä käsin. Osallistuin elokuussa pohjoismaisen ”Scandinavian Collaborationin” 2 metrin kammiossa 19 GeV:n protonisuihkulla tehtyyn kokeeseen ja matkustin myös yhteistyökokoukseen Oslossa. Palasin Helsinkiin YFL:lle kesäkuussa 1967. Työskentelin jälleen Goldschmidt-Clermontin ryhmässä CERNissä vv. 1968–1970, jolloin tein väitöskirjatutkimukseni K^+p-fysiikasta sekä myös v. 1973.

Ensi kokemukset CERNistä ja Genevestä

Siirtyminen CERNiin kesäkuussa 1966 oli jännittävää, sillä en ollut työskennellyt vielä ulkomailla. CERN sijaitsee Geneven ulkopuolella, mutta sinne oli helppo löytää, kun Geneven rautatieasemalta löytyi bussi, jonka taulussa luki CERN. Tutustuminen CERNiin sujui helposti, henkilökunta oli ystävällistä ja avuliasta. Kaikilta löytyi aikaa neuvomiseen ja asioiden hoitoon. CERNin ”kodikkuutta”osoitti myös, että jopa kuuluisa teoreettinen fyysikko John Bell tarjosi minulle apuaan muutossa ja CERNiin asettumisessa.

Geneve osoittautui kauniiksi ja viehättäväksi kaupungiksi. Erityisesti ihastuin kaupungista avautuviin vuorimaisemiin ja vuorilla vaeltamisesta ja kiipeilystä tulikin pitkäaikainen ja rakas harrastus.

Ensimmäisiä introjani vuorille kiipeämisessä oli nousu Haute Cime -vuorelle Dents du Midi -massiivilla Sveitsin Valais’ssa. Kuvassa olemme huipulla sveitsiläisen kollegani Gerard Charriérin (oik.) kanssa. (Kuva Jorma Tuominiemi)

Vuonna 1966 Geneve oli hyvin kansainvälinen, viehättävä pikkukaupunki laajan maaseudun keskellä. CERNin ympäristökin oli suureksi osaksi maanviljelysmaata. Geneven erikoispiirteenä oli ja on kansainvälisten organisaatioiden suuri määrä ja ulkomaalaisten asukkaiden suuri suhteellinen osuus (v. 2017 n. 40%). Geneven kaupungin alue Genevenjärven päässä on rajoitettu Ranskan ympäröidessä sitä, eikä kaupungin asukasluku ole voinut kasvaa yli 200 000. Sen sijaan ympäröiville alueille Geneven kanttonin ja erityisesti Ranskan puolen alueelle on muuttanut viimeisten parinkymmenen vuoden aikana yli 200 000 uutta asukasta. Se on merkinnyt Geneveä ympäröivän alueen kaupunkilaistumista ja näkyy tänä päivänä myös Genevessä valtavasti kasvaneena liikenteenä.

Olen työskennellyt CERNissä viiden vuosikymmenen aikana useita eri pituisia jaksoja ja asunut CERNin lähellä kaikkiaan yhteensä yli kaksikymmentä vuotta. Olen voinut seurata CERNin kehittymistä vielä pienehköstä eurooppalaisesta tutkimuskeskuksesta nykyiseksi maailman johtavaksi ja hyvin kansainväliseksi hiukkasfysiikan laboratorioksi. Myös ympäröivä maailma on muuttunut paljon. Laitoksen alue oli alkuaikoina varsin kevyesti vartioitu. Hostellipalveluja oli rajoitetusti ja suureksi osaksi vierailijat asuivat Geneven hotelleissa. Ensimmäinen hostellirakennus CERNiin valmistui v. 1983.

CERNin Meyrinin laboratorion alue v. 2005 idästä kuvattuna. Alue laajentui Ranskan puolelle 1980-luvulla. Itähalli näkyy nyt alueen keskellä. Alueen takaosassa näkyvät Länsihalli ja neutrinokokeitten hallit. Edessä CERNin hallintorakennus. Oikeassa reunassa tien toisella puolella ruskea rakennus on "Globe of Science and Innovation", jonka Sveitsin liittovaltio lahjoitti CERNille v. 2003. Se oli alun perin Sveitsin kansallisen näyttelyyn "Expo 02" rakennettu moderni puurakennus. Sen takana olevat rakennukset ovat ATLAS-kokeen maanpäällisiä halleja. Kuvan takaosassa Ranskan aluetta, St. Genis'n kylää. (Kuva CERN)

Kuplakammiokuvien mittausta ENETRA-projektorilla. Kuvassa ENETRA on jo YFL:n uusissa, v. 1969 valmistuneissa tiloissa. Mittaajana tutkimusapulainen Aila Miettinen. (Kuva J. Tuominiemi)

Ydinfysiikan laitokselle lokakuussa 1965 asennetulla ENETRA-laitteella mitattiin aluksi Tukholman yliopistosta, professori Ekspongin ryhmästä lähetettyjä filmejä, jotka oli esitarkasteltu Tukholmassa. Kuplakammiofilmit oli ennen mittausvaihetta ”esitarkasteltava” eli käytävä visuaalisesti läpi ja luokiteltava kukin kuva sen mukaan minkälainen törmäysreaktio (tai reaktioita) siinä oli, esimerkiksi montako hiukkasta törmäyksessä oli syntynyt ja oliko reaktiossa joku syntyneistä hiukkasista hajonnut uusiksi hiukkasiksi.

CERNissä oli esitarkastelua varten suunniteltu projisiointipöytä, jolle kuvat heijastettiin silmämääräistä tarkastelua varten. Pöytiä valmistettiin mm. Norjassa, josta pohjoismaiset ryhmät olivat tilanneet laitteensa. Helsinkiin Laurikainen tilasi SHIVA-esitarkastelupöydän v. 1966 syksyllä ja se asennettiin Meritullinkadulle helmikuussa 1967. ENETRA-mittauksia varten palkattiin kaksi kokopäiväistä tutkimusapulaista, minkä lisäksi käytettiin opiskelijoita tekemään mittauksia myös iltaisin. Laurikainen joutui tekemään kovasti töitä tarvittavien määrärahojen saamiseksi, varsinkin kun päästiin mittaustulosten analysointivaiheeseen, johon tarvittiin runsaasti isojen tietokoneitten aikaa. Tukholman ryhmän kokemusten perusteella voitiin arvioida, että YFL tarvitsisi n. 50 000 mk vuosittain tarvittavan tietokoneajan saantiin.

Professori Ekspongin johtaman Tukholman ryhmän koe oli tehty CERNin 80 cm:n kuplakammiolla ja K^+-suihkussa. Mittausten rekonstruktio- ja kinemaattinen analyysi (TRESH + GRIND) tehtiin aluksi Kööpenhaminassa IBM:n pohjoismaisille yliopistoille v. 1965 perustamassa tietokonekeskuk-

Meritullinkadun tiloissa työskenteleviä ryhmäkuvassa v. 1968. Vasemmalta lukien eturivissä Claus Montonen, Pilvi Villanen, tutkimusapulainen Tuula Koskenvaara (sylissään Maria Tuominiemi), tutkimusapulainen Mirja Helisniemi, Siv-Britt Ljung, Risto Raitio ja Jaakko Mäkelä; takarivissä Heimo Villanen, Esa Riipinen, Petri Laurikainen, Peter Lindblom ja Keijo Kajantie. Montonen ja Kajantie ovat Teoreettisen fysiikan laitoksen tutkijoita, jotka oli sijoitettu Meritullinkadun tiloihin. (Kuva J. Tuominiemi)

sessa (Northern European Universities Computing Center, NEUCC), jolla oli käytössään upouusi IBM 7090 -kone. Kone oli tuolloin maailman huippua, esimerkiksi NASAlla oli käytössään samanlainen. Mittausdata oli Helsingissä kirjoitettu magneettinauhoille ja sen aikaiseen tapaan ohjelmat oli koodattu reikäkorteille. Magneettinauhojen ja reikäkorttilaatikoiden kanssa matkustimme Kööpenhaminaan Teknillisen korkeakoulun kampukselle Kongens Lyngbyssä, jossa NEUCC-keskus sijaitsi. Ajoaika oli ilmaista, mutta sitä oli meille tarjolla vain öisin. Ensimmäinen yritys oli 20.4.1966, mutta silloin ohjelmia ei vielä saatu toimimaan.

Helsingin ryhmää auttoi CERNin ohjelmien sovittamisessa NEUCC:n IBM 7090 -koneelle Dr. Michael Aderholz Aachenin teknillisestä korkeakoulusta (RWTH). CERNin ohjelmat oli kirjoitettu Fortran IV -kielellä. Ryhmän vahvistukseksi YFL:lle tuli v. 1966 FM Auvo Sarmanto, joka toimi laitoksen amanuenssina. Sarmanto oli Suomen ensimmäisiä asiantuntijoita suurtietokoneiden käytössä, joten hänen tukensa oli merkittävää myös ajojen

Peter Lindblom, Jorma Tuominiemi, Heimo Villanen ja Markku Kaartinen palaverissa Meritullinkadulla (Kuva J. Tuominiemi)

suorittamisessa NEUCC:ssa. Hän auttoi ryhmää alkuun myös pitämällä sille tietojenkäsittelykurssin ALGOL- ja FORTRAN-kielissä. Kannaltamme pahaksi onneksi Sarmanto toimi v. 1967 myös Helsingin yliopiston suurkonehankinnan teknisen toimikunnan puheenjohtajana, mikä työllisti häntä niin, ettei hän pystynyt osallistumaan toimintaamme aivan täyspäiväisesti. Lokakuussa 1967 hän siirtyi sitten kutsuttuna hoitamaan Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelyopin professuuria ja poistui valitettavasti kokonaan kuvioistamme.

Yhteyksiä luotiin edelleen myös muihin kuplakammioryhmiin. Keväällä 1967 Dr. Gottfried Kellner CERNistä vieraili Helsingissä ja piti 5.–12.3. seminaarisarjan ”Organization and Analysis of High Energy Bubble Chamber Experiments”. Kellner toimi myöhemminkin neuvonantajana Helsingin ryhmälle. Samoin teki Dr. Reinhard Budde CERNistä, hän kävi useaan otteeseen Helsingissä avustamassa teknisissä kysymyksissä. Laurikainen oli luonut suhteet myös professori Martin Deutschmanniin Aachenin Teknillisestä korkeakoulusta. Deutschmann piti mm. 13.–18.3.1968 seminaarisarjan ”Quasi-two-body processes in π^+p interactions at 4 and 8 GeV/c.”

Tässä vaiheessa ryhmän jäseninä työskentelivät yo. Markku Kaartinen, FM Veikko Karimäki, FM Mauri Korkea-aho (Oulun yliopisto), FM Petri Laurikainen, FM Peter Lindblom (Åbo Akademi), FM Siv-Britt Ljung, FM Jaakko Mäkelä, yo. Risto Raitio, FM Esa Riipinen, FM Heimo Saarikko, FM Jorma Tuominiemi, FM Heimo Villanen ja LuK Pilvi Villanen.

1.5. Neuvottelut CERNin kanssa 1966–1967

Neuvottelut Suomen ja CERNin yhteistyöstä jatkuivat, mutta hitaasti. K.V. Laurikainen kävi v. 1966 toukokuussa jatkamassa niitä apulaisjohtaja Léon Van Hoven kanssa CERNissä. Vihdoin 1966 kesällä Opetusministeriö tiedusteli suomalaisilta yliopistoilta ja korkeakouluilta niiden kiinnostusta CERN-yhteistyöhön. Tiedustelun pohjalta OPM lähetti 17.10.1966 kirjelmän pysyvän edustuston kautta CERNin johdolle. CERNin johto oli ilmoittanut Laurikaiselle toivovansa, että yhteydenotto tapahtuisi diplomaattisia kanavia käyttäen.

Opetusministeriö sai marraskuussa 12.11.1966 päivätyn muistion Suomen Geneven pysyvän edustuston yhteydenotosta CERNin johtoon. Opetusministerinä toimi tuolloin Reino H. Oittinen. CERNin pääjohtaja oli juuri vaihtunut (uusi johtaja professori Bernard Gregory Saclaysta vuoden alusta). Uusi johto ei ollut halukas ottamaan uusia observer-jäseniä. Pääjohtaja Gregory oli käynyt neuvotteluja Suomen Genevessä olevan pysyvän edustuston päällikön, suurlähettiläs Pentti Talvitien kanssa asiasta ja ottanut esille mahdollisuuden puolivirallisesta sopimuksesta ”ad hoc” pohjalla. Sopimuksen mukaan Suomen olisi maksettava tutkijoittensa kulut CERNissä, mutta maksuja tutkimuslaitteiden käytöstä ei vaadittu. Tarkemmissa neuvotteluissa apulaisjohtaja Léon Van Hoven ja hallintopäällikkö George Hamptonin kanssa selvitettiin mitä tämä tarkoittaisi käytännössä. Van Hove valotti tässä yhteydessä CERNin toimintaan kuuluvaa ”tieteellistä kehitysyhteistyötä”, johon sillä on varattuna resursseja ja joita Suomen kohdalla hänen mielestään oli järkevää käyttää, koska ”Suomella on CERNin käsityksen mukaan jo vahvat ja maailmanlaajuiset tieteelliset yhteydet teoreettisen hiukkasfysiikan alalla, joten CERN toivoo yhteistoimintaa suunnitellulla pohjalla jo oman etunsakin vuoksi”. Jäsenyys ei hänen mukaansa vielä tässä vaiheessa olisi Suomelle perusteltua.

Käytännössä CERNin johdossa oli ajateltu, että Suomi asettaisi 12 henkilön tutkimusryhmän, jonka asemapaikka olisi Suomessa. Ryhmästä noin neljä tutkijaa työskentelisi pitempiä tai lyhempiä aikoja kerrallaan CERNissä. Tarvittaviksi kustannuksiksi CERNin johto arvioi noin miljoonaksi Sveitsin frangiksi eli n. 750 000 markaksi. Lisäksi Suomen olisi asetettava CERNiin asiantunteva yhdysmies. Summa koostuisi tutkijoiden ja yhdysmiehen matkakustannuksista ja oleskelukuluista CERNissä sekä toisaalta kotimaisen tutkimusryhmän kustannuksista. Lisäksi tarvittaisiin kuplakammiofilmien analysointiin laitehankintoja. CERN oli siis valmis yhteistoimintaan ilman suurempia muodollisuuksia ja virallisten sopimusten solmimista siinä laajuudessa kuin Suomi katsoi voivansa sitä toteuttaa.

Opetusministeriö pyysi CERNin tekemästä ehdotuksesta lausunnon Valtion luonnontieteelliseltä toimikunnalta. Toimikunta otti asiaan positiivisen kannan OPM:lle toimitetussa lausunnossaan. Se katsoi kuitenkin, että

suomalaisten hiukkasfyysikoitten vähälukuisuuden vuoksi yhteistyö olisi aloitettava pienemmissä puitteissa kuin mitä CERN oli kaavaillut. Toimikunta katsoi myös, että yhteistyö voisi tapahtua osittain jo olemassa olevien ydinfysiikan ja teoreettisen fysiikan laitosten tutkimusohjelmien puitteissa ja voitaisiin rahoittaa kyseisten laitosten normaalien menoarvioiden kautta. Toimikunta arvioi vuodeksi 1968 tarvittavan erillisen määrärahan suuruudeksi 130 000 markkaa.

Tämän jälkeen asiaa oli esillä Valtion Tiedeneuvostossa, jonka työvaliokunta käsitteli asiaa ensimmäisen kerran 11.3.1967 toimistopäällikkö Matti Ahon selvityksen pohjalta. Ahon muistiossa esitettiin seuraavat luvut: 96 000 mk v. 1967 (plus matka- ja päivärahakuluja), 430 000 mk v. 1968 ja noin 500 000 mk v. 1969. Määrärahat sisälsivät myös analyysiin tarvittavia tietokoneaikakuluja. Luvut vastasivat melko hyvin Laurikaisen arvioita.

Käsittely jatkui työvaliokunnassa 31.3.1967 professorien Erkki Laurila, Olavi Granö, K.V. Laurikainen, Lennart Simons ja Pekka Tarjanne toimiessa kutsuttuina asiantuntijoina. Tässä kokouksessa työvaliokunta katsoi, että jos varoja myönnetään fysiikan alan kansainväliseen yhteistyöhön, niitä on käytettävä myös Suomen ja Neuvostoliiton väliseen fysiikan tutkimustyöhön. Näin huolellisesti varmisteltiin tuolloin Neuvostoliiton hyväksyntää läntisten kansainvälisten järjestöjen toimintaan osallistumiselle.

CERN-yhteistyön käsittely siirrettiin seuraavaan kokoukseen. Kokouksessaan 8.4.1967 Tiedeneuvoston työvaliokunta päätti sitten puoltaa Suomen ja CERNin välisen yhteistyön järjestämistä siinä laajuudessa kuin Valtion luonnontieteellinen toimikunta oli suositellut. Ehdotettu laajuus oli pienempi kuin toimistopäällikkö Ahon alustava esitys. Samalla työvaliokunta uudisti päätöksensä, että myös Suomen ja Neuvostoliiton välisestä yhteistyöstä oli huolehdittava. Esillä oli myös Pohjoismaisen kuplakammiokuvien automaattisen analysointikeskuksen perustaminen Tukholmaan, josta Tukholman yliopisto oli tehnyt ehdotuksen. Työvaliokunta katsoi, että ottaen huomioon osallistumisesta aiheutuvien kustannusten suuruus, ei ainakaan tässä vaiheessa siihen pitäisi osallistua. Näin oli järjestelmällinen yhteistyö CERNin kanssa saatu alulle pitkällisen prosessin jälkeen, vaikkakin ajateltua vaatimattomammissa puitteissa.

Käytännön toiminta CERN-yhteistyössä oli nyt organisoitava. Valtion luonnontieteellinen toimikunta kutsui 28.11.1967 asiantuntijakokouksen Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitokselle Siltavuorenpenkereelle. Kokoukseen osallistuivat professorit O. Granö ja K.-G. Fogel Luonnontieteellisestä toimikunnasta ja professorit K.V. Laurikainen ja P. Tarjanne hiukkasfysiikan asiantuntijoina. Sihteerinä toimi FT P. Kauranen. Kokouksessa päätettiin, että K.V. Laurikainen neuvottelee CERNin kanssa käytännön järjestelyistä, kuten tutkijoiden palkkauksesta. Päätettiin myös, että Luonnontieteellinen toimikunta lähettää kaikille Suomen fysiikan ja teoreettisen fysiikan laitoksille

kirjeen, jossa kehotettiin niitä tutkijoita, joilla on kiinnostusta työskennellä CERNissä, ilmoittautumaan toimikunnalle.

Kokouksessaan 19.12.1967 Luonnontieteellinen toimikunta päätti asettaa työryhmän, jonka tehtävänä oli tehdä toimikunnalle esitykset CERNin kanssa tapahtuvaa yhteistyötä varten asetettujen määrärahojen käytöstä ja hoitaa yhteistyöhön liittyvät käytännön toimenpiteet. Työryhmän jäseniksi määrättiin professorit Fogel, Tarjanne ja Laurikainen. Edelleen toimikunta velvoitti työryhmän valitsemaan keskuudestaan yhdysmiehen, joka hoitaa yhteydenpidon CERNiin, hyväksyy CERNiin lähetettyjen tutkijoiden palkat, matkakorvaukset jne. Luonnontieteellinen toimikunta päätti myös ensimmäisen varsinaisen CERN-stipendiaatin, tekniikan tohtori Nils Törnqvistin palkkaamisesta tutkijaksi CERNiin vuodeksi 1968. Työryhmä järjestäytyi 16.1.1968 ja otti nimekseen CERN-komitea. Puheenjohtajaksi se valitsi professori Laurikaisen, joka toimisi samalla yhdysmiehenä CERNiin. Komitean uudeksi jäseneksi kutsuttiin professori Mårten Brenner Åbo Akademista. Vuoden 1971 alusta CERN-komitean toimintapiiriin tuli Tiedeneuvoston linjauksen mukaisesti myös yhteistyö Dubnan tutkimuslaitoksen (JINR) kanssa ja komitean nimi muutettiin Hiukkasfysiikan komiteaksi. Samalla luonnontieteellisen toimikunnan edustajaksi professori Fogelin tilalle tuli apul.professori Kaarle Kurki-Suonio.

Hiukkasfysiikan komitea toimi asiantuntijaelimenä hiukkasfysiikan alalla tieteen keskuskomitean ja valtion luonnontieteellisen toimikunnan myöntämien määrärahojen käytöstä päätettäessä aina vuoteen 1989 asti, jolloin Suomen CERNiin liittymisestä tehtiin päätös. Rahoituksen koordinointi siirrettiin v. 1990 perustettuun Suurenergiafysiikan tutkimuslaitokseen (SEFT).

Kokeellinen CERN-yhteistyö muotoutui kahteen kategoriaan, pitkäaikaiseen työskentelyyn CERNissä sen tutkimusryhmien jäsenenä sekä lyhytaikaisiin vierailuihin pääasiassa kokeiden suorittamista varten. Pitkäaikaisille (1-2 vuotta) stipendiaateille maksettiin palkka CERNin käytäntöjen mukaisesti, lyhytaikaisille vierailijoille (mukaan lukien kesäopiskelijat ja corresponding fellow-statuksella vierailevat) vain matkakulut ja oleskelukustannukset CERNissä OPM:n määräysten mukaisesti.

Stipendit 1968–1973

Vuosi	CERN-stipendit	Lyhytaikaiset vierailut	Yhteensä
1968	1 v, 6 kk	6 kk	2 v, 6 kk
1969	3 v, 6 kk	10 kk	4 v, 6 kk
1970	4 v	12 kk	5 v
1971	3 v, 6 kk	11 kk	4 v, 6 kk
1972	5 v	6 kk	5 v, 6 kk
1973	4 v	12 kk	5 v

Vuoden 1967 tulo- ja menoarviossa oli Helsingin yliopistolle myönnetty 120 000 mk:n määräraha laitosten tieteellisten töiden tietojenkäsittelyn aiheuttamien kulujen peittämiseen.

Ensimmäiset CERN-komitean stipendiaatit CERNissä:

FT Nils Törnqvist	v. 1968
FM Esa Riipinen	1.6.1968–31.5.1969
FM Peter Lindblom	1.9.1968–2.5.1969
FL Jorma Tuominiemi	1.9.1968–31.8.1969
FT Keijo Kajantie	1.9.1969–31.8.1970
FT Paul Hoyer	1.9.1969–31.8.1971
FM Mauri Korkea-aho	1.1.1970–31.12.1970

1.6. Scandinavian Collaboration, ensimmäiset kokeet 1966–1968

Keväällä 1966 professorit Gösta Ekspong, K.V. Laurikainen, Knud Hansen Niels Bohr instituutista Kööpenhaminasta ja S.O. Sørensen Oslon yliopistosta sopivat yhteistyöstä ja käynnistivät Scandinavian Collaboration -nimellä tunnetun yhteistyöhankkeen protoni-protoni-törmäysten tutkimisesta CERNin 2 metrin kuplakammiolla ja PS-kiihdyttimellä tuotetulla 19 GeV/c:n protonisuihkulla. Heidän koe-ehdotuksensa hyväksyttiin CERNissä, ja kokeelle annettiin suoritusaika 8.–13.8.1966, jolloin arvioitiin saatavan 90 000 kuplakammiokuvaa. Kokeen tutkimustavoitteena oli kartoittaa protoni-protonisironnan dynamiikkaa uudella energia-alueella, käyttämällä vastikään rakennettua 19 GeV/c:n protonisuihkua.

Kuplakammiokokeissa CERNin omat asiantuntijat rakensivat kuplakammiot ja hiukkassuihkut PS:n yhteyteen ja operoivat niitä kokeita tehtäessä. Yhteistyöryhmittymän tutkijat valvoivat kuplakammiokuvien ottoa ja antoivat palautetta ja toivomuksia CERNin ryhmälle hiukkassuihkun intensiteetistä ja kuplakammiokuvien laadun optimoinnista. Kokeessa otetut kuplakammiokuvat lähetettiin mitattavaksi ja analysoitavaksi kokeeseen osallistuviin instituutteihin.

Scandinavian Collaboration -hankkeen ensimmäiseen ajoon CERNin PS:llä 8.–13.8.1966 osallistuivat mm. professori S.O. Sørensen, Dr. Tor Jacobsen. M.Sc. Harald Johnstad ja M.Sc. Knud Tøfte Oslon yliopistosta, professori Knud Hansen ja Dr. John Eades Kööpenhaminan Niels Bohr instituutista, professori Gösta Ekspong, professori B. Rönne, Dr. Torleif Olhede ja M.Sc. Sven-Olof Holmgren Tukholmasta sekä FM Jorma Tuominiemi Helsingistä.

Harald Johnstad ja Jorma Tuominiemi CERNin East Hall -rakennuksessa valvomassa 2 m kuplakammiolla 19 GeV:n protonisuihkussa tehtävää koetta. (Kuva J. Tuominiemi)

Toinen ajo tehtiin v. 1967. Yhteensä kuvia kertyi 120 000, joista 17 000 otettiin Helsinkiin mitattavaksi.

Vuoden 1967 lopulla Åbo Akademi liittyi yhteistyöryhmittymään mukaan. Professori Mårten Brenner perusti tutkimusryhmän Turkuun, jonne rakennettiin omatekoinen esitarkastelupöytä. Hän lähetti FM Peter Lindblomin Helsinkiin YFL:n tutkimusryhmää vahvistamaan. Lindblomin siirryttyä muualle 1969, ryhmää johti FM Erik Sundell. Myös Oulun yliopiston professori Pentti Tuomikoski oli kiinnostunut hankkeesta ja lähetti oppilaansa FM Mauri Korkea-ahon Helsinkiin. J. Tuominiemi toimi Helsingin kuplakammioryhmän koordinaattorina.

Elokuun lopussa 1967 saatiin pp-kokeen ensimmäinen DST valmiiksi NEUCC:ssa. Rekonstruktioanalyysia jatkettiin ja marraskuun alussa 1967 tehdyllä Kööpenhaminan matkalla saatiin ajettua seuraava erä mittaustuloksia analyysin läpi ja niistä DST valmiiksi. Rekonstruktioajoissa kohdattiin aluksi runsaasti ongelmia. Osoittautui, että CERNistä saatuihin analyysiohjelmiin oli tehtävä useita parannuksia ja korjauksia törmäysten suuren energian vuoksi – käytetty 19 GeV/c:n protonisuihkun energia oli paljon suurempi kuin aiemmissa 2 m:n kammiolla tehdyissä kokeissa. Koetulosten valmistuminen vei aikaa ja vielä kokemattomat pohjoismaiset ryhmämme joutuivat kovalle koetukselle. Toisaalta tämä oli hyvää koulutusta jatkoa varten, kun

Pohjoismaisen kollaboraatio tapasi kokoontua vuorotellen kokeen osanottajamaissa käymässä läpi saatuja tuloksia ja koordinoimassa työskentelyä. Kuva on kokouksesta Joensuussa v. 1968. Vasemmalta B. Rønne, Gösta Ekspong, Petri Laurikainen, Risto Raitio, Heimo Villanen ja Esa Riipinen. (Kuva J. Tuominiemi)

analyysimenetelmiin jouduttiin perehtymään monia yksityiskohtia myöten. Ensimmäinen kokeesta julkaistu fysiikan tutkimustulos oli raportti Wienin suurenergiafysiikan konferenssiin 1968:

> H. Boggild, J. Eades, K. Hansen, H. Johnstad, R. Mollerud, L. Veje; P. Laurikainen, P. Lindblom, J. Tuominiemi; T. Jacobsen, S. O. Sorensen, Ö. Thingvold; G. Ekspong, L. Granström, S. O. Holmgren, S. Nilsson, T. Olhede, U. Svedin, N. Yamdagni:
> *Proton-proton reactions at 19 GeV/c with production of two and three pions*, paper submitted to the XIV International Conference on HEP, Wien 1968; University of Stockholm, Institute of Physics report 70-04 (1970).

Vuoteen 1969 mennessä analysointityössä esiintyneet pääongelmat oli riittävässä määrin selvitetty ja Scandinavian Collaboration teki kaksi uutta protoni-protoni-koetta 19 GeV/c:n energialla. Kokeissa otettiin 500 000 kuvaa. Tietokonetilanne Suomessa oli parantunut sen verran, että Helsingin ryhmä saattoi ajaa SUMX-ajoja eli fysiikan analyysiä VTKK:n IBM 360/50 -koneella Lauttasaaressa.

Kokouksessa Joensuussa. Kuvassa taustalla Rønne, Olhede, Peter Lindblom ja Auvo Sarmanto. Etu alalla Risto Raitio ja Maire Kiikka. (Kuva J. Tuominiemi)

Skandinaavisen kollaboraation koeohjelmaan kuului vielä kaksi protoni-deuteroni -koetta 19 GeV:n energialla ja 2 metrin kammiolla. Kammion nesteenä oli nyt deuteriumia. Vuonna 1970 tehdyssä kokeessa saatiin 60 000 kuvaa ja marraskuussa v. 1972 yhteensä 120 000 kuvaa. Nämä deuteroni-kokeet tekivät mahdolliseksi verrata pp- ja pn -sirontoja, mikä oli vielä uutta. Kaikki Scandinavian Collaboration-hankkeen kokeiden mittaukset saatiin valmiiksi v. 1976 mennessä. Fysiikan analyysi jatkui aktiivisena aina 1980-luvun alkuun. Kokeesta syntyi runsaasti julkaisuja eri aiheista, jotka heijastelivat hiukkasfysiikan silloisen kehityksen mukanaan tuomia kiinnostuksen kohteita. Tutkimus oli Regge-analyysiä lukuun ottamatta paljolti kartoittavaa. Keskityttiin paljolti etsimään uusia resonanssihiukkasia. QCD-teoria ei vielä ollut sovellutusvaiheessa. Kokeissa sai suuri joukkoja fyysikoita koulutusta etenkin tietojenkäsittelyssä.

Helsingin ryhmä kontribuoi myös CERNin rekonstruktio-ohjelmien kehitykseen. Petri Laurikainen kehitti yhdessä CERNin asiantuntijoiden, erityisesti Dr. W.G. Moorheadin kanssa THRESH-ohjelmaan parannuksia hiukkasten moninkertaisen Coulombin sironnan huomioonottamisesta kammionesteessä. Petri Laurikainen työskenteli CERNissä keväällä 1969 parin kuukauden ajan. Hän väitteli aiheesta 1971.

1.7. Tietokoneongelmat ja mittaamisen pullonkaulat

Kuplakammiokuvien mittausten analysointi NEUCC:n tietokoneella Kööpenhaminassa oli tietysti hankalaa, sillä se vaati paljon matkustamista. Koska tietokoneaika oli kortilla, oli aina riski, että jos ajot eivät onnistuneet käytössä olleen ajan puitteissa, oli edessä taas uusi matka uutta yritystä varten. Vuoden 1967 aikana alettiin Suomessa kaipailla ja kaavailla isompien tietokoneitten hankintaa yliopistojen käyttöön. Helsingin yliopisto oli asettanut teknisen työryhmän tutkimaan asiaa FM Auvo Sarmannon toimiessa ryhmän vetäjä. Yliopisto päätyi lopulta ryhmän suosituksista riippumatta hankkimaan Burroughs 6700 -koneen, joka poikkesi IBM-tyyppisten koneiden valtavirrasta. Mitään CERNin ohjelmia ei sille ollut vielä sovitettu, joten sen hankinta ei hyödyttänyt suomalaista kokeellisen hiukkasfysiikan toimintaa. Vuoden 1969 keväällä Helsingin ryhmä sai aikaan IBM7094:n magneettinauhojen dataformaatin muuntaminen VTKK:n IBM360/50-koneen nauhaformaattiin. Tämä teki mahdolliseksi fysiikan analyysiosan (SUMX-ajot) tekemisen Helsingissä.

Tilanne muuttui vihdoin fyysikoitten kannalta parempaan suuntaan vuonna 1970. Valtion tietokonekeskukseen Lauttasaareen sijoitettiin vuoden lopulla UNIVAC 1108 suurtietokone kaikkien korkeakoulujen käyttöön. Ydinfysiikan laitoksen kuplakammioryhmä aloitti heti analyysiohjelmistojen asennustyöt – UNIVACille sopivat ohjelmaversiot saatiin suoraan CERNin ohjelmakirjastosta. Kaikki ohjelmat saatiin toimimaan UNIVACilla kevääl-

UNIVAC nosti Suomen tieteen seuraavalle kvanttitasolle

UNIVAC-koneen hankintaan liittyy tapahtumakulku, jota on kuvattu professori Martti Tienarin toimittamassa ”Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa” -kirjassa. Kone hankittiin Suomen Pankin voittovaroilla. Helsingin kauppakorkeakoulun kansleri Klaus Waris oli vuoden 1969 kesällä ottanut yhteyttä SITRAn asiamieheen, Osmo A. Wiioon ja pyytänyt tätä miettimään, mitä hyödyllistä pankin käyttöön jääneellä 20 miljoonalla markalla voitaisiin tehdä. Wiio oli kutsunut samana päivänä ”SITRAn nuorisoseuran” eli SITRAn insinöörit luokseen saunaan. Wiio kertoi saunan lauteilla keskustelustaan Wariksen kanssa. Nyt olisi mahdollista käynnistää sellainen 20 miljoonan markan hanke, jolla suomalainen tiede voidaan ”nostaa seuraavalle kvanttitasolle”. Kyseessä voisi olla esimerkiksi jokin kallis laite, jota muuten ei voitaisi hankkia. TKK:n professori Eino Tunkelolla oli oitis ehdotus: suurtietokone. Suomen korkeakoulujen tietokonekanta oli surkea, laitteet olivat pieniä ja osittain vanhentuneita. Vain Helsingin yliopistolla oli hieman suuremman luokan kone (Burroughs 6700), joka ei kuitenkaan soveltunut hyvin fyysikoitten käyttöön. Tartuttiin toimeen ja päätettiin tarjota hankittavaa suurtietokonetta Valtion tietokonekeskukselle, joka olikin valmis ottamaan sen vastaan. Asia edistyi nopeasti ja helmikuussa 1970 Suomen Pankki allekirjoitti Oy Sperry Rand Ab:n kanssa UNIVAC 1108 -tietokoneen 11,5 milj. markan arvoisen hankintasopimuksen. Kone käynnistyi VTKK:n tiloissa Lauttasaaressa 1970 lopulla ja oli korkeakoulujen käytössä v. 1971 alusta.

lä 1973. Tässä vaiheessa tietokoneiden ohjelmointimenetelmät olivat kehittyneet niin, että Fortran-ohjelmointiin oli yhdistetty dynaaminen muistinkäyttö ja kuplakammiokuvien rekonstruktio-ohjelmat oli koottu yhdeksi ns. HYDRA-ohjelmistojärjestelmäksi.

Kun Scandinavian Collaboration sai CERNistä menestyksellä kuplakammioaikaa, alkoi manuaalinen ENETRA-projektori osoittautua hitaaksi ja riittämättömäksi. Sillä saatiin mitattua 6000–8000 alkeishiukkasreaktiota per vuosi, kun Helsinkiin oli odotettavissa yli 100 000 kuvaa mitattavaksi. Alkeishiukkasfysiikan kokeissa tavoiteltiin merkittävää lisäystä koemateriaalin määrään, sillä tutkimuksessa edettiin yhä yksityiskohtaisempiin havaintoihin ja mittauksiin. Oli selvää, että tarvittaisiin automaattisia mittauslaitteita. Skandinaaviset ryhmät olivat jo kiinnostuneita uudesta automaattisesta mittauslaitteesta, spiraalilukijasta, joita SAAB oli ryhtynyt valmistamaan. Kun SAAB oli alentanut huomattavasti spiraalilukijan hankintahintaa, pohdittiin pystyttäisiinkö sellainen hankkimaan Ydinfysiikan laitokselle. Laurikainen lähetti FM Esa Riipisen v. 1968 CERNiin tutustumaan spiraalilukijaan tarvittavaan tietokoneohjelmistoon. Syksyllä 1968 Laurikainen sai yllättäen puhuttua kaikki Helsingin yliopiston fysiikan professorit spiraalilukijahankkeen taakse. Laitteen hinnaksi oli ilmoitettu 1,3 miljoonaa markkaa. Fysiikan professorit esittivät v. 1968 lopulla, että tämä summa varattaisiin yliopiston perushankintamäärärahoista jaettuna kolmelle vuodelle. Laurikainen sitoi hankkeen myös Ydinfysiikan laitoksen uuden rakennuksen valmistumiseen; sen varustamiseen tarvittaisiin joka tapauksessa perushankintamäärärahoja. Esitys lähetettiin lausunnolle Valtion Luonnontieteelliseen toimikuntaan ja Teknillistieteelliseen toimikuntaan. Hanke herätti kuitenkin matemaattis-luonnontieteellisen osaston kokouksessa ankaraa vastustusta. Dekaani Palmén oli jopa ilmoittanut eroavansa, kun häntä vastaan oli ankarasti hyökätty hankkeen tukemisesta. Kun Teknillistieteellinen toimikunta antoi esityksestä kielteisen lausunnon v. 1969 alussa ja Valtion Tiedeneuvoston työvaliokunta ilmoitti, ettei valtiolta ainakaan toistaiseksi tule tukea Spiraalilukijan hankkimiselle Helsinkiin, näytti hanke kaatuvan.

Tällä välin olivat Tukholman ja Kööpenhaminan kuplakammioryhmät saaneet Ruotsissa ja Tanskassa läpi päätökset spiraalilukijakeskuksen perustamisesta Tukholmaan. Mittauslaitteisto oli tarkoitus saada käyntiin jo vuoden 1971 aikana. Keskus tarjosi merkittävästi mittauskapasiteettia myös Helsingille. Laurikainen ryhtyi tutkimaan tätäkin mahdollisuutta. Osallistumiseen tarvittava määräraha arvioitiin 750 000 markaksi. Vuoden kuluessa tuli myös esille spiraalilukijan rakentaminen Helsinkiin SAABilta erillisinä hankittavista osista, mutta tämä mahdollisuus arvioitiin nopeasti epärealistiseksi.

Kevään 1969 kuluessa Laurikainen oli lähtenyt tutkimaan vielä yhtä uutta vaihtoehtoa. Professori Otto Frisch oli v. 1968 kehittänyt Cambridgen yliopiston Cavendish-laboratoriossa uudentyyppisen, nopean, puoliautomaattisen mittauslaitteen, jolle hän oli antanut nimen ”Sweepnik”. Siinä hiukkasten

ratoja filmillä seurattiin mittauspisteen ympäri pyörivän lasersäteen avulla. Lasersäteen pyyhkäistessä filmillä olevan hiukkasen radan yli valomonistinputki rekisteröi syntyneen tummuuden vaihtelun, jolloin radan ylityskohdan paikka voitiin rekisteröidä digitaalisessa muodossa. Näin voitiin mittauspistettä siirtäen edetä pitkin hiukkasen rataa automaattisesti. Sweepnik oli huomattavasti halvempi kuin spiraalilukija ja lisäksi sen antaman datan analysointiin ei tarvittu suuria tietokoneita kuten spiraalilukijalle. Laurikainen oli kutsunut Frischin Helsinkiin jo v. 1968 kertomaan tarkemmin laitteesta.

Jonkinlaisena ongelmana pidettiin sitä, että Sweepnik oli vielä 1969 prototyyppivaiheessa Cavendish-laboratoriossa. Niinpä päädyttiin kuitenkin esittämään OPM:lle Tukholman spiraalilukijakeskukseen liittymistä. Laurikainen lähetti OPM:lle kirjelmän 30.12.1969 liittymiseen tarvittavien määrärahojen järjestämisestä. Ministeriö pyysi asiasta taas lausunnon sekä Tieteen keskuskomitealta että Valtion luonnontieteelliseltä toimikunnalta. Lausuntojen perusteella OPM totesi 6.4.1970 (*Takala, Gyllenberg 1969*), että pyydettyjen lausuntojen perusteella ”Helsingin yliopiston Ydinfysiikan laitoksella oli vireillä kaksi erillistä hanketta kuplakammiokuvien analysointikapasiteetin lisäämiseksi. Tukholman keskukseen liittymisen lisäksi suunnitellaan ns. Sweepnick (sic) -laitteiston hankintaa Helsingin yliopiston perushankintamäärärahoilla. Ministeriö yhtyy lausunnoissa esitettyyn käsitykseen, että ei ole tarkoituksenmukaista rahoittaa kahta erillistä hanketta kuplakammiokuvien analysointikysymyksen ratkaisemiseksi. Kun sweepnick-laitteisto näyttää edustavan kehittyneempää ratkaisua, tarjoaa monipuolisempia käyttömahdollisuuksia ja sen lisäksi antaa maamme tutkijoille tilaisuuden laitteen edelleen kehittämiseen, ministeriön kanta on, että sweepnick-laitteiston hankinta on asetettava vaihtoehtona Tukholman mittauskeskukseen liittymisen edelle. Ministeriö edellyttää, että Helsingin yliopiston suunnitelmia sweepnick-laitteiston ja tarvittavien lisälaitteiden hankkimiseksi ydinfysiikan laitokseen ryhdytään tarkoituksenmukaisessa järjestyksessä toteuttamaan.”

Arpa oli heitetty, Laurikainen otti riskin ja tilasi Cambridgestä Sweepnik-laitteiston, joka tuli olemaan ensimmäinen Cavendish-laboratorion prototyypin jälkeen rakennettu laite. Vähän myöhemmin Krakovan Ydinfysiikan instituutti ja Monsin yliopisto tilasivat samanlaiset laitteet. Krakovan kanssa YFL jakoi kokemustaan Sweepnikin käyttöönotossa, FM Rauno Lauhakangas työskenteli Krakovan Ydinfysiikan instituutissa ohjausohjelmiston asennuksessa.

1.8. Uusi laitosrakennus v. 1969, Sweepnik ja PDP15

Vuoden 1969 alussa valmistui kauan suunniteltu Ydinfysiikan laitoksen uudisrakennus Siltavuorenpenkereelle Fysiikan laitoksen ja Anatomian laitoksen väliin. Uudessa rakennuksessa oli hyvät laboratoriotilat sekä tilat tietokonesalille. YFL:n mittauslaitteet siirrettiin Meritullinkadulta uuteen rakennukseen 9.6.1969. Uudet tilat merkitsivät huomattavaa työolosuhteiden parannusta ja toiminnan tehostumista. Uuden rakennuksen vihkiäiset pidettiin 6.10.1969.

YFL:n uusi laitosrakennus Fysiikan laitoksen vieressä. (Kuva Helsingin yliopisto)

Rakennus tarjosi asianmukaiset tilat myös uuden Sweepnik-mittauslaitteiston asentamiselle. Sweepnik-hanke sopi hyvin Ydinfysiikan laitokselle myös siksi, että YLT:hen oli juuri saatu hankittua SITRAn rahoituksen avulla PDP15-tietokone, jota Cavendishin laboratorio käytti Sweepnikin ohjauskoneena. PDP15:n hankinta oli alun perin päätetty siksi, että Siltavuorenpenkereelle tarvittiin tehokas päätetietokone UNIVAC 1108 -tietokoneelle. Sweepnik tilattiin 1970 keväällä ja se saapui Helsinkiin 21.10.1971. Sitä asentamaan saapui kaksi laitteen suunnitteluun ja rakentamiseen osallistunutta fyysikkoa (G.S.P. Street ja Patrick Elcomb), jotka saivat sen teknisesti toimimaan jo 25.10.1971.

Sweepnikin hankinta oli iso hanke ja Laurikainen esitteli sitä mielellään yliopiston sisällä. Virallinen käyttöönotto tapahtui 18.2.1972 vihkiäistilaisuudessa Ydinfysiikan laitoksella, jota Helsingin yliopiston kansleri Pentti Renvall ja rehtori Mikko Juva juhlistivat läsnäolollaan.

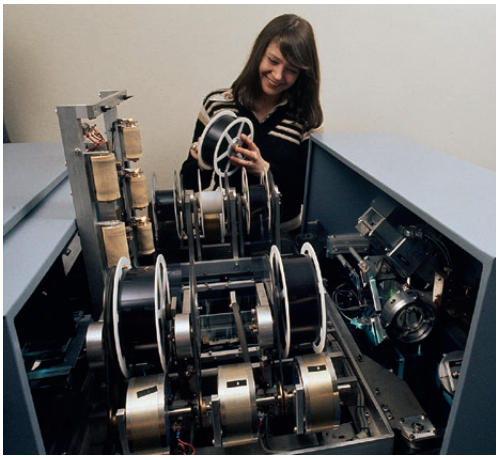
Sweepnikiä viedään laboratorioon asennettavaksi. Kuvassa Esa Riipinen (vasemmalla), G. Street (partasuinen mies oikealla), Tapio Nygrén (oikeallla selin). (Kuva Helsingin yliopisto)

Sweepnik-laitteistoa nostetaan YFL:n uuden laitosrakennuksen toiseen kerrokseen. (Kuva Helsingin yliopisto)

Sweepnikin mittausteho oli noin kymmenkertainen ENETRAan verrattuna ja se nosti Ydinfysiikan laitoksen keskisuurten hiukkasfysiikan laboratorioiden kärkipäähän Euroopassa. Skandinaavinen yhteistyöryhmä oli vuonna 1969 tehnyt uuden mittavan pp-kokeen CERNin 2 m kammiossa 19 GeV:n protonisuihkulla. Kokeessa oli otettu 420 000 kuvaa. Tämä täydensi vv. 1966–67 otettua tutkimusaineistoa, jonka mittaukset ENETRA-projektorilla oli jo tehty. Helsinkiin mitattavaksi oli osoitettu 85 000 kuvaa uudesta kokeesta. Sweepnikin ajoitus oli hyvä, sillä päästiin heti uuden kokeen mittauksiin, olkoonkin että Sweepnikin kalibrointiin jouduttiin vielä investoimaan paljon työtä. Skandinaavinen yhteistyöryhmä oli vuoden 1970 aikana aloittanut myös protoni-deuteronisironnan tutkimuksen 2 m kammiolla, tavoitteena verrata pp- ja pn-sirontaa toisiinsa. Tämän kokeen mittauksissa Sweepnik näytteli jo tärkeätä osaa.

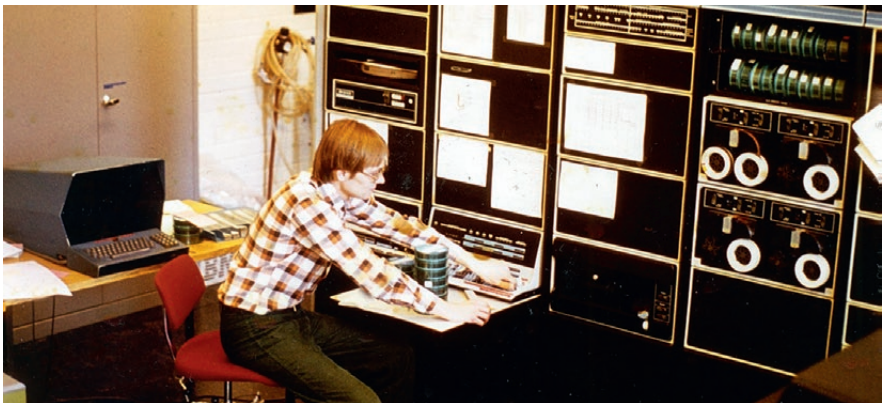
Kuplakammiokuvien mittaus Sweepnikillä käynnissä. (Kuva Helsingin yliopisto)

CERNin ISR-protoni-protoni-törmäyttimen käynnistyttyä v. 1971 Kööpenhaminan kuplakammioryhmä irrottautui Scandinavian Collaboration -ryhmittymästä ja siirtyi ISR:llä tehtäviin kokeisiin. Tämän jälkeen päätekijät Scandinavian Collaboration -hankkeessa olivat Tukholma ja Helsinki sekä Åbo Akademin pieni ryhmä, jota veti FM Erik Sundell. Tutkimukset pp- ja pd-kokeissa jatkuivat aina vuoteen 1979 asti. Niihin osallistuivat FM Veli-Matti Hagman, FM Irma Akkanen, FM Pilvi Villanen, FM Jaakko Mäkelä, FM Martti Pimiä ja FM Erik Sundell.



Tutkimusapulainen Aila Miettinen lataamassa kuplakammiofilmejä Sweepnik-laitteeseen. (Kuva Helsingin yliopisto)

Nyt skandinaavinen kollaboraatio oli jo sen verran hyvin tunnettu, että yhteistyötä sen kanssa tavoiteltiin useilta tahoilta. Vuonna 1974 päätettiin liittyä yhteen Amsterdamin ja Liverpoolin yliopistojen kanssa tekemään koetta CERNin 2 metrin kammiolla käyttäen uutta CERNiin rakennettua 12 GeV:n antiprotonisuihkua. Amsterdamin ryhmää johti professori D.J.Holthuizen, Liverpoolin ryhmää professori Hugh Muirhead. Fysiikan tavoitteena oli antiprotoni-protoni ja protoni-protoni-sirontojen vertaaminen uudella energia-alueella. Kokeesta saatiin 390 000 kuvaa, joista Helsinkiin mitattavaksi tuli 45 000 kuvaa. Mittaukset saatiin valmiiksi v. 1976, minkä jälkeen



FM Rauno Lauhakangas operoimassa Ydinfysiikan laskentatoimiston PDP5-tietokonetta. (Kuva YFL)

kokeen fysiikan analyysi jatkui aina 1980-luvun alkuun. Päätutkimuskohteena oli resonanssihiukkasten tuotto ja antip-p-sironnan vertailu pp-sironnan kanssa. Helsingin ryhmästä tutkimuksiin osallistuivat FM Jorma Joensuu, FT Veikko Karimäki, FT Mauri Korkea-aho, FL Ritva Kinnunen, FL Jukka Maalampi ja yliassistentti Jorma Tuominiemi.

1.9. Ensimmäiset väitöskirjat kokeellisessa alkeishiukkasfysiikassa Suomessa 1970–1978

Helsingin YFL:n ryhmän jäsenet hankkivat 1960-luvun lopussa ja 1970-luvun alussa koulutusta työskentelemällä CERNin tutkimusryhmissä Track Chambers -osastolla noin vuoden rupeamissa, Hiukkasfysiikan komitean stipendiaatteina. Veikko Karimäki ja Heimo Saarikko tekivät tutkimusta Dr. Douglas Morrisonin johtamassa ryhmässä, joka keskittyi suurenergisilla pioni-suihkuilla tehtäviin kokeisiin. Mauri Korkea-aho puolestaan työskenteli Dr. Lucien Montanet'n johtamassa ryhmässä, joka tutki negatiivisen sähkövarauksen kaonien sirontaa protoneista. Jorma Tuominiemi työskenteli useaan otteeseen vuoden mittaisissa jaksoissa Dr. Yves Goldschmidt-Clermontin johtamassa ryhmässä tutkimassa positiivisen sähkövarauksen kaonien sirontaa 5, 8 ja 16 GeV:n energioilla.

Ensimmäinen suomalainen väitöskirja kokeellisessa hiukkasfysiikassa tehtiin Turun yliopistossa. Professori Väinö Hovin oppilas Ilkka Laakso työskenteli 1960-luvun lopulla Rooman yliopiston tutkimusryhmässä, joka teki kuplakammiokokeita CERNissä. Laakso väitteli Turun yliopistossa v. 1968, tutkimuksen aiheena oli neljän pionin lopputilat antiprotoni-neutroni-vuorovaikutuksissa pienillä antiprotonin energioilla. Laakso jatkoi tutkimustyötä Rooman yliopistossa ja siirtyi sittemmin sen vakituiseen henkilökuntaan.

Ensimmäisenä Helsingin ryhmästä väitteli Jorma Tuominiemi 12.12.1970. Väitöskirja perustui tutkimustyöhön Yves Goldschmidt-Clermontin ryhmässä CERNissä. Aiheena olivat kolmen hiukkasen tuottoreaktioiden dynamiikka ja niiden analysointi kaksoisperifeerisen Reggen mallin ja Venezianon mallin avulla Kp-sironnassa. Vastaväittäjänä oli professori Eero Byckling, joka tuolloin oli aktiivinen suurenergisten monihiukkasreaktioiden kinematiikan ja dynamiikan tutkimuksessa. Väitöskirja syntyi apul.professori Keijo Kajantien ja Dr. Chan Hong-Mon kaksoisperifeeristä mallia käsitelleitten teoreettisten töiden innoittamana. Seuraavana väitteli Petri Laurikainen 27.11.1971. Hänen väitöskirjatyönsä ”Multiple Scattering and Track Reconstruction” käsitteli coulombisen moninkertaisen sironnan huomioon ottamista hiukkasten ratojen rekonstruktioinnissa kuplakammioissa. Työn ohjaajana toimi Dr. W.G. Moorhead, joka oli rekonstruktio-ohjelmien kehittämisen johtohahmo CERNissä. Petri Laurikaisen vastaväittäjänä toimi FT Matts Roos Helsingin yliopistosta. Kolmantena väittelyvuorossa oli Mauri Korkea-aho 1.12.1973. Hänen työnsä aiheena oli kolmen ja neljän hiukkasen lopputilat π^-p-törmäyksissä 3,9 GeV:n suihkun energialla. Vastaväittäjänä oli FT Ilkka Laakso, joka oli jo tuolloin apulaisprofessorina Rooman yliopistossa.

Ensimmäinen Helsingin ryhmän jäsen, joka väitteli Scandinavian Collaboration -ryhmittymän tekemistä kokeista, oli FM Siv-Britt Ljung, jonka tutkimuksen aiheena olivat kahden ja kolmen pionin tuottoreaktiot pp-törmäyksissä 19 GeV/c:n suihkunenergioilla. Väitöstilaisuus pidettiin 3.8.1974, vastaväittäjänä toimi Dr. Sigward Nilsson Tukholman yliopiston kuplakammioryhmästä. Seuraavana vuonna sai Veikko Karimäki väitöskirjansa valmiiksi, väitöstilaisuus pidettiin 13.12.1975 Helsingin yliopistossa. Aiheena oli hänen yhdessä Keijo Kajantien kanssa kehittämien tilastollisten menetelmien soveltaminen monihiukkasreaktioiden tutkimukseen Kp- ja πp-reaktioissa 8, 10, 16 ja 20 GeV:n suihkunenergioilla. Vastaväittäjänä oli apulaisprofessori Vesa Ruuskanen Jyväskylän yliopistosta. Seuraava väitös liittyi Sweepnik-laitteistoon, FL Esa Riipinen väitteli 26.2.1976, aiheenaan hänen kehittämänsä kalibrointijärjestelmä Sweepnikille. Vastaväittäjänä toimi Dr. John E. Hooper Niels Bohr-instituutista Kööpenhaminasta. YFL:n ”pioneereista” viimeisenä Heimo Saarikko sai väitöskirjansa päätökseen v. 1978. Hän väitteli 29.12.1978 tutkimuksista resonanssihiukkasten tuotosta πp ja K^-p -törmäyksissä 8, 10 ja 16 GeV/c:n suihkunenergioilla. Hänen vastaväittäjänään toimi FT Pekka Pirilä TFT:ltä.

Seuraavan sukupolven kokeellisen hiukkasfysiikan tutkijoista ensimmäisenä väitteli FL Risto Orava v. 1981. Hänen väitöskirjansa aiheena olivat neutrinosuihkuilla tehdyt sirontakokeet, joissa tutkittiin nukleonien kvarkkirakennetta. Orava oli osallistunut näihin kokeisiin stipendiaattina CERNissä ja Fermilabissa 1977–81. Väitöskirjan otsikkona oli ”Quark jets” ja väitöstilaisuus pidettiin Helsingin yliopistossa 10.6.1981 (Fermilab FN-335 7240.180). Vastaväittäjänä toimi FT Hannu I. Miettinen.

1.10. CERNin ja JINR:n kesäkoulu (CERN School of Physics) Suomessa v. 1970. Muita tieteellisiä kokouksia Suomessa 70-luvulla.

CERN on järjestänyt aktiivisesti hiukkasfysiikan jatkokoulutusta 1960-luvulta lähtien ja hiukkasfysiikan jatko-opiskelijoille tarkoitettuja kesäkouluja vuodesta 1964 lähtien. Vuoden 1969 kesällä CERNin johto otti yhteyttä professori Laurikaiseen ja tiedusteli mahdollisuudesta järjestää tällainen koulu Suomessa. Virallinen kirje ehdotuksesta tuli syyskuun 19. päivänä 1969. CERNin ulkosuhteista ja kesäkoulujen järjestämisistä huolehtinut Dr. Owen Lock kirjoitti: ”We would therefore like to go ahead with our plans to hold a CERN School of Physics in Finland in 1970, a school in which the JINR would participate actively in the organisation, in the provision of lecturers and of students”. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun Dubnassa sijaitseva v. 1956 perustettu sosialististen maiden ydinfysiikan tutkimuskeskus JINR (Joint Institute of Nuclear Research) tuli mukaan CERNin kesäkoulujen järjestelyyn.

Laurikainen tarttui tarjoukseen ja ehdotti koulun pitopaikaksi Loma-Kolia Pohjois-Karjalassa. Upouusi bungalow-tyyppinen turistihotelli Kolin alueella tarvittavine kokoustiloineen sopi hyvin nuorten opiskelijoiden majoittamiseen. Lock vieraili Helsingissä 9.–11.10.1969 neuvottelemassa järjestelyistä. Laurikainen oli pyytänyt minut ja Vesa Ruuskasen mukaan organisointiin, tarkoituksena oli, että toimisimme myös koulun tieteellisinä sihteereinä. Kuukautta myöhemmin 4.–6.11. vierailivat JINR:n varajohtajat professori Christov Christov ja professori A.N. Tavkhelidze Helsingissä ja Loma-Kolilla. Neuvotteluja käytiin paikallisen matkatoimiston kanssa, kokeiltiin hotellin saunaa ja käytiin avannossa uimassa. Vieraat olivat talviseen eksotiikkaan ihastuneita. Lopuksi 6.11. oltiin Helsingissä Opetusministeriössä sopimassa koulun järjestelyistä. Tuohon aikaan tarvittiin OPM:n virkamiehiä ja opetusministeri Johannes Virolainen allekirjoittamaan JINR:n kanssa tehtyjä, koulun järjestelyihin liittyviä sopimuksia. Myös JINR:n pääjohtaja, professori Nikolai N. Bogolubov, vieraili Helsingissä ja OPM:ssä.

Kesäkoulun järjestelykomiteaan kuuluivat professori Mårten Brenner (Åbo Akademi), professori Ch. Christov (JINR), professori O. Kofoed-Hansen (puheenjohtaja, CERN), professori K.V. Laurikainen, Dr. W.O. Lock (CERN), professori Pekka Tarjanne (Helsingin yliopisto), professori A.N. Tavkhelidze (JINR), ja professori Léon Van Hove (CERN). Komitea kokoontui ensimmäisen kerran 4.12.1969 Dubnassa.

Loma-Kolin koulu pidettiin 21.6.–5.7.1970. Luennoitsijoina oli joukko tunnettuja tutkijoita CERNin ja JINR:n jäsenmaista. Yhtenä pääluennoitsijana toimi apulaisprofessori Keijo Kajantie Helsingin yliopiston Fysiikan laitokselta, jonka aiheena oli laajasti ”Modern developments in hadron physics”. CERNin pääjohtaja, professori Bernard Gregory, JINR:n varajohtaja Ch. Christov ja Dr. S.P. Denisov Serpuhovista esitelmöivät CERNin, JINR:n

Vuoden 1970 Loma-Kolin koulun osanottajia yhteiskuvassa. Eturivissä seitsemäs oikealta Miss Steel. (Kuva CERN)

ja neuvostoliittolaisessa Hiukkasfysiikan tutkimuslaitoksessa IHEP:issä Serpuhovissa käynnissä olevista tutkimusohjelmista. Myös CERNin teoria-osaston johtaja Léon Van Hove osallistui ohjelmaan. Koulu oli sen verran huomioitu maailmalla, että mukaan oli saatu myös professori Abdus Salam ICTP Instituutista (Trieste), yksi Weinbergin–Salamin teorian kehittäjistä ja tuleva nobelisti. Hän piti esitelmän otsikolla ”Non-Linear Field Theories”.

Koulun käytännön järjestelyjä hoiti vahvalla otteella legendaarinen Miss E.W.D.H. Steel, CERNin kesäkoulujen pääsihteeri. Muodostimme hänen ja Vesa Ruuskasen kanssa tehokkaan järjestelyteamin. Koulu onnistui hyvin ja nosti Suomea tunnetuksi eurooppalaisessa hiukkasfysiikan tutkijayhteisössä. Monet koulun nuorista osanottajista ovat myöhemmin olleet yhteistyökumppaneitamme kokeellisessa hiukkasfysiikassa ja jäseninä samoissa alan komiteoissa. Osanottajia oli 86, heistä 28 JINR:n jäsenmaista. Opiskelijat tulivat 53 laboratoriosta, pääasiassa tohtorikoulutusvaiheessa olevia kokeilijoita ja teoreetikoita. Suomalaiset osanottajat olivat FM Veli-Matti Hagman, FM Veikko Karimäki, apul.professori Keijo Kajantie, FM Erkki Kurenniemi, FM Siv-Britt Ljung, FM H.I.Miettinen, FM Claus Montonen, FM Jaakko Mäkelä, FM P. Pietiläinen, FM Pekka Pirilä, LuK Risto Raitio, FM Esa Riipinen, FL Vesa Ruuskanen, FM Erik Sundell ja FL Jorma Tuominiemi.

Ch. Christov, Y. Shtsherpakov ja Vesa Ruuskanen luentotauolla (Kuva J. Tuominiemi).

Chris Michael, Miss Steel, M.Sc. G. Önengüt ja sihteeri Lumikki Osara ekskursiolla Lieksan ulkomuseossa. (Kuva J. Tuominiemi)

Koulun menestyksen innoittamana Laurikainen järjesti useita kansainvälisiä hiukkasfysiikan konferensseja Loma-Kolilla. Laurikainen oli kotoisin Pohjois-Karjalasta ja tunsi lukkarinrakkautta aluetta kohtaan. Jo ennen v. 1970 koulua hän oli järjestänyt Liperin ammattiopistolla useita pieniä kansainvälisiä konferensseja, joihin osallistui tunnettuja kokeellisia ja teoreettisia fyysikoita Euroopasta ja USA:sta, myös CERNistä. Vuonna 1972 järjestetyssä Loma-Kolin koulussa esitelmöitsivät mm. CERNin silloinen pääjohtaja Willibald Jentschke ja Dr. Klaus Winter CERNistä. Myös professori O.W. Frisch Cambridgestä osallistui kouluun. Vuonna 1974 esitelmöitsijöinä olivat mm. professorit Hans Bethe ja Roy Glauber. He olivat tuolloin viettämässä sapattivuottaan NORDITAssa Kööpenhaminassa, josta heidät onnistuttiin saamaan mukaan. Vuonna 1975 Laurikainen järjesti edelleen Loma-Kolilla symposiumin antiprotoni-protoni-vuorovaikutuksista, joista alkoi olla kokeellista dataa saatavissa.

Hiukkasfysiikan kokousten järjestäminen Suomessa heijasteli suomalaisten hiukkasfyysikoitten verkottumista, joka pääsi hyvin alkuun 60-luvun lopulta alkaen, osin myös CERNin yhteistyön kautta. Tästä yhtenä osoituksena oli YFL:lla Helsingissä 25.–28.5. 1971 järjestetty Colloquium on Multiparticle Physics -kokoussarjan toinen kollokvio. Ensimmäinen oli järjes-

Hiukkasteoreetikot saunassa

Abdus Salam ja Léon Van Hove saapuivat yhdessä Loma-Kolille eräänä iltapäivänä koulun ollessa jo käynnissä. Päätimme tarjota heille pitkän matkan jälkeen virkistykseksi saunakokemuksen. Herrat hyväksyivät ehdotuksen mielihyvin. Vein heidät käytössämme olleeseen pienehköön, viihtyisään, uutuuttaan hohtavaan saunaan, joka oli lämmitetty juuri sopivaksi. Olimme istuneet saunassa tovin hiljaisina ja mietteisiimme vaipuneina, välillä löylyjä heitellen. Yht'äkkiä toinen herroista loihe lausumaan: "It interesting that sweating starts in the feet. It must be because of the socks." Hetken hiljaisuuden jälkeen toinen kommentoi: "No, I think it must be because of the gravity."

tetty Pariisissa 1970. Hiukkasfysiikan kokeissa oli alkanut kertyä dataa reaktioista, joissa lopputilassa oli useampia kuin kaksi hiukkasta ja ne olivat herättäneet kiinnostusta. Kokouksen järjestelytoimikuntaan kuuluivat professori Eero Byckling, apul.professori Keijo Kajantie, Dr. Helmut Satz (Bielefeldin yliopsto) ja FT Jorma Tuominiemi. Kokoukseen osallistui 71 alalla aktiivisesti vaikuttavaa fyysikkoa. Näistä monista tuli suomalaisten teoreetikoiden ja kokeilijoiden yhteistyökumppaneita pitkälle ajalle. Suomalaisia osanottajia oli 10. Itse kokoussarja osoittautui pitkäikäiseksi, se jatkuu edelleen vuosittaisena tapahtumana.

CERNin pääjohtaja Bernard Gregory ja discussion leader Dr. Chris Michael lentopallon peluussa Loma-Kolilla 1970. (kuva J. Tuominiemi)

1.11. O.V. Lounasmaan dilutiokryostaattiprojekti

Professori Olli Lounasmaan johtamassa TKK:n kylmälaboratoriossa oli v. 1970 rakennettu maailman ensimmäisen vaakasuora ^{3}He-^{4}He-dilutiokryostaatti. Tämä oli pantu merkille CERNissä, jossa tarvittiin kryostaatteja hiukkaskokeisiin asennettavien polarisoitujen kohtioitten jäähdyttämiseen. CERNin Polarized Targets -ryhmän johtaja Dr. Michel Borghini otti yhteyttä Lounasmaahan v. 1970 alussa ja tästä syntyi yhteistyöprojekti, josta muodostui pitkäaikainen CERN-TKK-yhteistyö. Vaakasuoraa kryostaattia suunniteltiin CERNissä rakenteilla olleen suuren ”Omega”-spektrometrin polarisoitua kohtiota varten.

Vaakasuoran dilutiokryostaatin oli TKK:n kylmälaboratoriossa rakentanut Lounasmaan oppilas DI Tapio Niinikoski. Lounasmaa käynnisti yhteistyöprojektin Borghinin kanssa ja Niinikoski rakensi v. 1970 aikana mallikryostaatin, joka asennettiin ja testattiin CERNissä. Työ tehtiin osittain CERNissä yhteistyössä Borghinin ryhmän kanssa. Niinikoski siirtyi CERNiin 1972 ajaksi Hiukkasfysiikan komitean tuella ja aloitti ”Omega”-spektrometria varten rakennettavan kryostaatin suunnittelun. Rakentaminen aloitettiin v. 1972 lopulla ja rahoitettiin Opetusministeriön professori Lounasmaalle ja DI Niinikoskelle myöntämällä määrärahalla. Kryostaatin dilutio-osa rakennettiin Kylmälaboratoriossa TKK:lla, koko laitteisto valmistui v. 1973 aikana. Niinikoski väitteli aiheesta TKK:lla v. 1974. Samana vuonna Niinikoski kiinnitettiin CERNin henkilökuntaan ja hänestä tuli Polarized Targets-ryhmän johtaja v. 1978 Borghinin siirryttyä muihin tehtäviin. CERNiin rakennettiin sittemmin useita dilutiokryostaatteja Niinikosken johdolla. Suomen liityttyä CERNiin yhteistyö TKK:n kylmälaboratorion ja CERNin välillä virisi uudelleen.

2. Kuplakammiokokeet 1970-luvulla. Yhteistyö JINR:n kanssa.

2.1. Yhteistyön käynnistäminen Dubnan Yhdistyneen Ydintutkimuslaitoksen (JINR) kanssa 1967–1973

Kun Valtion Tiedeneuvoston työvaliokunta oli 8.4.1967 suositellut erityisen määrärahan varaamista yhteistoimintaan CERNin kanssa Luonnontieteellisen toimikunnan esittämässä laajuudessa, se samalla edellytti, että huolehditaan myös fysiikan alan tieteellisestä yhteistyöstä Neuvostoliiton kanssa. Tätä koskevat tunnustelut hiukkasfysiikan alalla aloitettiin professori Laurikaisen vieraillessa kesäkuussa 1967 Dubnassa.

Joint Institute of Nuclear Research (JINR) on Dubnan kaupungissa Moskovan pohjoispuolella sijaitseva tutkimuskeskus, jossa tutkitaan ydin- ja alkeishiukkasfysiikkaa. Neuvostoliiton rakentama keskus käynnistyi 1956 ja sen jäseniksi kutsuttiin sosialistiset maat. 1960-luvulla sen ylläpitoon osallistui yksitoista maata. Laitoksella oli tuolloin käytössä 700 MeV:n synkrosyklotroni ja 10 GeV:n protonisynkrotroni. Jälkimmäinen oli v. 1967 jo vanhentunut laite. Siinä ei ollut vielä sovellettu alternating gradient-fokusointitekniikkaa, kuten CERNin PS- ja Brookhavenin AGS -synkrotroneissa. Dubnan hiukkasfysiikan tutkimusryhmät rakensivatkin jo koelaitteistoja Serpuhovissa sijaitsevan neuvostoliittolaisen tutkimuslaitoksen uudelle 76 GeV:n protonisynkrotronille.

Protvinossa Serpuhovin lähellä sijaitseva Suurenergiafysiikan laitos (IHEP) on neuvostoliittolainen, aikanaan atomienergian käytön valtionkomitean alainen laitos, jonka tehtävänä on harjoittaa hiukkasfysiikan teoreettista ja kokeellista tutkimusta. Siellä oli v. 1967 käynnistynyt 76 GeV:n protonisynkrotroni (U-70), joka oli tuolloin maailman suurin hiukkaskiihdytin. Sillä tehtävät kokeet tietysti herättivät kiinnostusta myös meissä YFL:n fyysikoissa. Dubnan tutkimuslaitoksella oli yhteistyösopimus IHEP:n kanssa ja Dubnan tutkimuslaitoksen rakentama 2 m:n kuplakammio ”Ludmila” oli asennettu U-70:n yhteyteen. Ehdotuksia tehtäville kokeille oli jo esitetty ja niihin liittymistä lähdettiin YFL:ssä tutkimaan.

Ensimmäinen Dubnan tutkimuslaitoksen ja suomalaisten fyysikkojen välistä yhteistyötä koskeva pöytäkirja allekirjoitettiin huhtikuussa 1968 Dubnan tutkimuslaitoksen apulaisjohtajan, professori A. Hrynkiewiczin vieraillessa Suomessa. Keskusteluissa otettiin esille yhteistyön järjestäminen useilla fysiikan aloilla, jotka voisivat hyötyä Dubnan ja Serpuhovin kiihdyttimien käytöstä. Hiukkasfysiikan alalla todettiin erityisesti, että YFL voisi osallistua Dubnan tutkimuslaitoksen kuplakammiokokeisiin IHEP:n kiihdyttimellä Protvinossa.

YFL:n ja JINR:n yhteistyö rajoittui aluksi vastavuoroisiin tutkijavierailuihin Dubnan ja sen jäsenmaiden laboratorioiden ja Helsingin ja Jyväskylän yliopistojen välillä. Vierailujen kustannuksista sovittiin, että matkakustannukset hoit lähettävä instituutti ja oleskelukustannukset vastaanottava osa-

puoli. Vuonna 1971 oltiin Dubnan ja Serpuhovin tutkimuslaitosten välisissä yhteistyöneuvotteluissa edetty niin pitkälle, että voitiin aloittaa YFL:n ja Dubnan tutkimuslaitoksen yhteistyön suunnittelu Ludmila-projektissa. Ludmila-kammio oli jo asennettu U-70:lle ja IHEP oli myöntänyt ajoaikaa sillä tehtävälle kokeelle. Talvella 1970-71 FM Siv-Britt Ljung YFL:lta työskenteli puolen vuoden ajan Dubnassa ja osallistui Protvinossa Ludmila-kammion ensimmäisiin testeihin U-70:llä.

Vierailin Dubnassa lukuisia kertoja 1970-luvulla yhteistyöneuvotteluissa Ludmila- ja MIS-ryhmien luona, joten ehdin tutustua Dubnan tukimuslaitokseen jonkin verran. Vierailujeni aiheena olivat tutkimusyhteistyötämme koskevat asiat, mutta ne oli usein ajoitettu niin, että saatoin osallistua Dubnassa pidettyihin tieteellisiin kokouksiin. Niissä käytettiin usein pelkästään venäjän kieltä, mutta sai niistä kuitenkin jotain selvää, vaikken silloin osannut kieltä vielä lainkaan. Kokouksiin osallistui usein huomattavia neuvostoliittolaisia tutkijoita. Muutama tutkija, joihin tutustuin Dubnassa, on

Bruno Pontecorvo

Erityisesti kiinnostustani herätti Bruno Pontecorvo, kuuluisa italialainen fyysikko, joka loikkasi Neuvostoliittoon Helsingin kautta v. 1950. Hän oli JINR:n tieteellisissä seminaareissa vakio-osanottaja. Loikkaamisensa jälkeen Dubna-käyntieni aikoina hän ei ollut vielä päässyt vierailemaan Neuvostoliiton ulkopuolelle kertaakaan. Lännessä Pontecorvo oli enigmaattinen hahmo. Hän herätti uteliaisuuteni ja hänen muusta joukosta selvästi erottuva persoonallinen charminsa kiinnitti huomiotani.

Pontecorvo oli yksi maailman johtavista neutriinofysiikan tutkijoista. Hän esitti v. 1946 ensimmäisen menetelmän neutriinojen havaitsemiseksi ja julkaisi v. 1959 tutkimuksen, jossa hän esitti, että on olemassa kahdenlaisia neutriinoita, elektroniin kytkeytyviä ja myoniin kytkeytyviä. Tämän vahvistivat kokeellisesti Jack Steinberger, Leon Lederman ja Melvin Schwartz v. 1962 Brookhavenin synkrotronilla tehdyissä kokeissa, joista he saivat Nobelin fysiikan palkinnon v. 1988. Pontecorvo osoitti Dubnassa 1960-luvun alussa tekemissään kokeissa, että elektroni ja elektronin neutriino ja myoni ja myonin neutriino esiintyvät heikoissa vuorovaikutuksissa samalla tavalla (leptonien universaalisuus-periaate). Seuraavan kymmenen vuoden aikana Pontecorvo kehitteli muiden tutkijoiden mukana teoriaa näiden neutriinojen muuntumisesta toisikseen, neutriino-oskillaatioista.

Historian kosketuksen tunsin vuonna 1990 kohdatessani Pontecorvon sattumalta CERNissä. Pontecorvo oli tuolloin jo pyörätuolissa – hän kärsi Parkinsonin taudista. Tuolia työnsi hänen veljenpoikansa Dr. Ludovico Pontecorvo, kollegani UA1-kokeesta. Tämä kohtaaminen ja keskusteluni vierailusta Ludovicon kanssa jäivät voimakkaasti mieleeni. Bruno Pontecorvo oli vuodesta 1978 lähtien saanut mahdollisuuden käydä lännessä. Vuonna 1989 hän vieraili professori Ugo Amaldin kutsusta CERNissä ja piti pääauditoriossa esitelmän täydelle salille.

Bruno Pontecorvon tutkimukset olivat Nobel-luokkaa, mutta olivat jääneet jossain määrin varjoon sen vuoksi, että ne julkaistiin ensin venäjäksi neuvostoliittolaisissa tiedejulkaisuissa. Pontecorvo kuoli v. 1993, eikä hän saanut nähdä neutriino-oskillaatioiden kokeellista vahvistusta vuosina 1998–2001.

mukana vielä tänä päivänä CMS-kokeessa CERNin LHC-törmäyttimellä ja näen heitä välillä CERNissä.

Ensimmäisen matkani Dubnaan tein 31.5.–9.6.1971. Tutustuin JINR-tutimuskeskukseen ja uusiin tutkijakollegoihin ja osallistuin seminaariin, joka koski kahden hiukkasen lopputilan hiukkasprosesseja. Puhujina oli hyvin tunnettuja venäläisiä fyysikoita, kuten Vladimir Gribov ja Lev Okun sekä joukko länsimaisia fyysikoita, kuten Herwig Schopper CERNistä ja Chris Quigg ja T.T. Wu Yhdysvalloista. Vuoden 1972 aikana teimme YFL:lta kaksi matkaa Dubnaan Ludmila-yhteistyön valmistelua varten. Siv-Britt Ljung ja FK Tapio Nygrén kävivät Dubnassa 17.1.–1.2.1972 ja laboratorioinsinööri Esa Riipinen ja FT Jorma Tuominiemi 16.–20.10.1972.

Vierailullamme Esa Riipisen kanssa tapasimme JINR:n Ludmila-ryhmän jäseniä, Dr. Igor Gramenitskyn, Dr. N.M.Viryasovin, Dr. S.Nowakin ja Dr. Larissa A.Tihonovan. He esittelivät meille Ludmila-kokeen tilannetta, aika-

Tiedekaupunki Dubna

Dubnan kaupunki on 125 km päässä Moskovasta pohjoiseen Volgan yläjuoksun varrella. Se oli saanut kaupunkioikeudet v. 1956 JINR:n perustamisen yhteydessä sekä kansallisen tiedekaupungin (naukograd) aseman 1971. Dubnassa sijaitsee edelleen maailman korkein Lenin-patsas (25 m). Sen vierellä oli aiemmin Stalinin patsas, mutta se hajotettiin v. 1961. Meille kerrottiin, että patsaan palasista oli rakennettu JINR:n hotellin puiston reunakivetykset. Dubnan asukasluku v. 1970 oli n. 44 000. JINR:n laboratoriot sijaitsivat kaupungin reunalla osin metsän keskellä. Vanhimmat rakennukset olivat Neuvostoliitossa 1930-luvulla vallinneen klassisen tyylin mukaisia.

Dubnaan mennessä meidät haettiin Moskovan rautatieasemalta tai Sheremetyevon lentokentältä ja sijoitettiin JINR:n hotelliin, joka sijaitsi Volgan rannalla. Hotelli oli bulgarialaisten rakentama iso, tilava rakennus, avarat käytävät ja korkeat huoneet. Hotellissa oli myös ihan kelpo ravintola. Alkukesästä tuomien kukkiessa rantanäkymä hotellista oli kaunis. Majoituttuamme Ilmoittauduimme JINR:n kansainväliselle osastolle. Laboratoriot olivat tarkoin vartioituja, niihin mentäessä oli mukana oltava hallinnon allekirjoittama lupalappunen (propushka), jonka porttirakennuksessa toimivat vartijat tarkastivat. Vartijat olivat pukeutuneita pitkiin nahkatakkeihin, mikä tietysti herätti meissä huomiota. Huhuttiin, että aseet oli jätetty pois 1960-luvulla. Laboratorioiden sisällä meno oli vapaata, ilmapiiri oli kollegiaalinen ja ystävällinen. Kansainvälisen osaston henkilökunta oli erittäin ystävällistä ja avuliasta. Vietimme suomalaisen ryhmämme kanssa aikaa myös hotellihuoneissamme. Yksi huvittelun aihe oli ihmetellä kovalla äänellä, salakuunnellaanko meitä.

JINR:n hotelli Dubnassa. (Kuva Pilvi Villanen)

Kuljetukset Moskovan ja Dubnan välillä jäivät mieleen. JINRin autot eivät olleet

taulua ja kuplakammiokuvien saantimahdollisuuksia. Tutkimme Ludmila-kammiolla protonisuihkussa tehdyistä koeajoista huhtikuussa 1972 otettuja kuvia esitarkastelupöydällä sekä niiden ensimmäisiä mittaustuloksia JINR:n spiraalilukijalta. Kuvat olivat huonolaatuisia, mutta toisaalta ne olivat vasta testikokeista. Protonisuihkun lisäksi U-70:lle oli suunnitteilla myös antiprotonisuihku, jonka asennus oli tarkoitus aloittaa v. 1973 alussa. Keskustelimme suunnitelmista U-70:llä Nowakin kanssa, joka kertoi, että JINR:n ja IHEP:n sopimuksissa oli sovittu, että Ludmila-kammiolla otettaisiin n. 200 000 kuvaa/vuosi. Nowak oli erityisen kiinnostunut siitä, että meillä oli CERNin kokeista kokemusta kuplakammion optisten vakioiden määräämisessä. Ilmaisimme kiinnostuksemme myös antiprotonisuihkusta, koska sillä voitaisiin tehdä tutkimusta energialla, johon muualla ei vielä pystytty. Vierailujen yhteydessä tapasimme myös JINR:n johtoa, varajohtajan professori A. Mihulin ja Suurenergiafysiikan laboratorion johtajan professori A.M. Baldinin. Heidän

mitään Maserateja, mutta kuskit ajoivat niitä niin lujaa kuin vain niistä lähti. Tie Dubnaan ei ollut kovin leveä ja hitaiden kuorma-autojen ohitukset olivat pelottavia. Yhdellä Dubnan matkalla seurueessamme oli mukana prof. Keijo Kajantie vaimoineen. He kieltäytyivät paluumatkalla autokyydistä ja matkustivat hiukan sääntöjä rikkoen Moskovaan junalla. Muistimme kaikki, miten kuuluisa neuvostoliittolainen fyysikko Lev Landau oli invalidisoitunut vakavasti v. 1956 auto-onnettomuudessa matkalla Moskovasta Dubnaan.

JINR:n teoreettisen fysiikan laitos (Kuva JINR)

JINR:n kansainvälisen osaston johtaja Dr. Viktor S. Shvanev oli meitä jonkin verran vanhempi, ystävällinen ja huumorintajuinen herrasmies. Hänet opinkin tuntemaan hyvin. Juoruttiin, että hän olisi ollut Solzenitsynin ”Syöpäosasto”-kirjassa kuvaaman vankileirin johtaja. Huhun todenperäisyys ei meille kuitenkaan koskaan selvinnyt. Suurenergialaboratorion johtaja professori A.M. Baldin järjesti illanviettoja, joihin meidät suomalaiset vierailijatkin kutsuttiin. Ne olivat kiinnostavia tapaamisia, joissa tutustuin hiukan neuvostoliittolaisen tutkimuskeskuksen johtoporukkaan. Ludmila-kollaboraation johto puolestaan kutsui meidät usein koteihinsa illalliselle, jolloin saattoi tutustua heidän privaattipuoleensa. Tunnelma oli venäläisen sydämellistä ja erosi kyllä selvästi Dubnan kaupungin julkisesta kuvasta. Mielenkiintoamme herätti, että JINRn virkailijoitten joukossa oli mies, joka puhui sujuvaa suomea. Kävi ilmi, että tämä Olavi Lindfors niminen mies oli Yhdysvalloista Neuvostoliittoon 1930-luvulla muuttaneen amerikansuomalaisen perheen vesa.

JINR:llä oli Dubnassa oma ”Dom Kultura”, jossa vieraili usein maineikkaita venäläisiä taiteilijoita. Satuin onnekseni paikalle muun muassa, kun esiintyjänä oli Leonid Kogan ja toisella kerralla Svjatoslav Richter.

mukaansa yhteistyöstä voitaisiin sopia, kun professori K.V. Laurikainen vierailisi Dubnassa.

Aivan yllättäen Riipistä ja minua tulivat Dubnassa tapaamaan Dr. Oleg Zaimidaroga ja Dr. L. Kuzin JINR:stä. He esittelivät meille JINR:n optisella kipinäkammiolla Serpuhovissa tehtäväksi suunniteltua koetta, jossa tutkimustavoitteena oli koherentti sironta ytimistä 40 GeV/c:n suihkuilla. Zaimidaroga oli hyvin kiinnostunut saamaan meidät mukaan hankkeeseen. CERNissä oli samanlainen koe käynnissä pienemmällä energialla ja saimme tutustua siitä saaduista tuloksista julkaistuun esipainokseen. Olimme tietenkin ymmällä, kun MIS-kokeesta ei ollut etukäteen lainkaan puhuttu. Koe-ehdotus ei vielä tuolloin ollut paperilla, mutta koe oli tulossa mukaan suunnitelmiin myöhemmin.

Suunnitelmat Ludmila-yhteistyöstä muotoutuivat niin, että Dubnan tutkimuslaitos huolehti Ludmila-kammion toiminnasta ja kuvien otosta ja YFL vastaisi merkittävältä osalta filmien mittauksesta ja tietokoneanalyysistä Helsingissä. Varsinkin tietojenkäsittelyssä sekä Sweepnik-mittauksissa YFL:n osuutta pidettiin JINR:n puolelta tärkeänä, sillä muiden Ludmila-kokeeseen osallistuvien ryhmien analysointikapasiteetti oli paljon pienempi kuin YFL:n. JINR:n Hiukkasfysiikan komitea ja Tieteellinen neuvosto hyväksyivät YFL:n esitykset Ludmila-yhteistyöstä kokouksissaan 21.–24.11.1972 (*Laurikainen, Rousku 1973*). Laurikainen matkusti tämän jälkeen joulukuun alussa Dubnaan yhteistyön yksityiskohtien selvittämistä varten. Ludmila-yhteistyötä koskeva pöytäkirjan allekirjoittivat JINR:n apulaisjohtajan professori A. Mihul ja professori Laurikainen kesäkuussa 1973.

Sopimuksen mukaan JINR luovuttaisi YFL:lle Ludmila-kokeessa otettuja kuvia ilmaiseksi. Otettavaksi suunniteltu kuvien kokonaismäärä oli 250 000. YFL:lle luovutettavien kuvien esitarkastelu, mittaus ja tietokoneanalyysi tehtäisiin Helsingissä. Koko kollaboraation mittaustulokset yhdistettäisiin lopuksi DST-muodossa fysiikan analyysiä varten. Tulokset julkaistaisiin JINR:n esipainoksina ja tieteellisissä lehdissä, kuten alalla on tapana. Julkaisujen allekirjoittajien lukumäärä oli ehdotettu kiinnitettäväksi laboratorioittain kunkin laboratorion analyysiin antaman panoksen mukaan. Fysiikan analyysin suunnitelma ja tutkijoitten vaihto oli tarkoitus sopia erikseen tehtävällä protokollalla. Yhteistyön vastuullisiksi henkilöiksi määrättiin Dr. N.M. Virjasov JINR:sta ja professori K.V. Laurikainen Helsingin yliopistosta. Sopimus synnytti jonkin verran närää mm. puolalaisten Ludmila-ryhmien johtajien keskuudessa, kun Helsinki pääsi mukaan kokeeseen maksamatta mitään JINR:n käyttökustannuksista. Tilanne oli saman tyyppinen kuin CERN-yhteistyössä. Suomalainen mittauskapasiteetti ja tietokoneresurssit olivat tässä niin merkittäviä, että JINR katsoi sopimuksen hyödylliseksi.

Ludmila-koe-ehdotus, jonka IHEP oli jo hyväksynyt, perustui kolmen tsekkoslovakialaisen tutkijaryhmän aloitteeseen ja sen olivat allekirjoittaneet

näiden lisäksi Dubnan tutkimuslaitoksen ja puolalaisen Krakovan ydinfysiikan instituutin tutkijat.

Kokeen tieteellinen mielenkiinto oli siinä, että U-70:n antiprotonisuihkun energia 23 GeV oli suurin silloin käytettävissä ollut antiprotonisuihkun energia. Yhdysvalloissa Brookhavenin kansalliseen laboratorioon oli saatu rakennettua 13 GeV:n suihku sen protonisynkrotronille. Ludmila-kokeilla voitiin näin saada tietoa antip-p-vuorovaikutuksen energiariippuvuudesta, joka oli tuolloin erityisen mielenkiinnon kohteena. Lisäksi törmäyksissä oli mahdollista synnyttää uusia resonanssihiukkasia aina 3 GeV:n massoille asti.

Ludmila-kokeeseen liittyivät lopulta Dubnan ja Helsingin lisäksi Alma Atan, Kosicen, Moskovan (MGU), Prahan (Kaarlen yliopisto ja Tiedeakatemia) ja Tbilisin yliopistot. Ludmila-kollaboraation puhemiehenä toimi Dr. Igor Gramenitsky JINR:sta. Helsingin ryhmää veti FM Siv-Britt Ljung YFL:sta. Ryhmään kuuluivat FM Tapio Nygrén, FM Jari Rousku, FM Risto Orava, FM Heimo Villanen ja FM Pilvi Villanen.

Ludmila-kollaboraation yhteistyökokouksia järjestettiin Dubnassa, Helsingissä ja Protvinossa. Neuvostoliittolaisten tutkijoiden lisäksi Helsingissä kävivät mielellään myös tsekkoslovakialaiset fyysikot. Näiden vierailujen seurauksena syntyi hyviä henkilökontakteja SEFLin ja Prahan instituuttien välille, jotka jatkuivat Ludmila-kokeen jälkeenkin.

Suhteita NL:n Helsingin suurlähetystöön

Vuoden 1972 aikana Neuvostoliiton Suurlähetystö solmi suoria suhteita YFL:n ihmisiin. Suurlähetystö kutsui Laurikaisen ja minut YYA-sopimuksen vuosipäivänä 6.4.1972 suurlähetystön juhlatiloissa pidettyyn tilaisuuteen. Harvoin olen ollut niin eksyksissä missään juhlissa, tunsin paikalla olleista vain Laurikaisen – tunnistin tietysti Tasavallan presidentin Urho Kekkosen. Toisen kutsun saimme 24.5., jolloin juhlittiin Neuvostoliiton ja Suomen tieteellis-teknillisen yhteistoiminnan 18. kokousta.

Laurikainen sai ”kotiryssäkseen” silloisen lähetystöneuvoksen, minuun otti yhteyttä lähetystösihteeri nimeltään Ivanov. Hän oli lähtöisin Neuvosto-Karjalasta ja puhui suomea. Ivanov vieraili joitakin kertoja YFL:lla ja kerran hän kutsui minut illalliselle syksyllä 1972 ravintola Kellarikrouviin Kasarmintorin kulmassa. Ivanov tarjosi ja vodkaa juotiin asiaan kuuluvasti. Hämmästykseksenі hän kaivoi salkustaan kuivattuja ahvenia, jotka olivat hänen herkkuaan ja illallista täydennettiin niillä vaivihkaa. Tämän jälkeen yhteyteni lähetystön väkeen katkesivat muutettuani v.1973 alusta vuodeksi Geneveen. Suomeen paluuni jälkeen tilanne oli jo muuttunut.

2.2. Dubna-yhteistyön tarvitsemat lisäresurssit

Dubna-yhteistyö vaati luonnollisesti lisäresursseja Helsingissä, oli perustettava uusi tutkijaryhmä ja tarvittiin lisää tietokoneaikaa. Hiukkasfysiikan komitean kautta CERNin ja Dubnan yhteistyöhön saatujen määrärahojen kehitys vuoteen 1973 on esitetty seuraavassa taulukossa.

Kansainväliseen yhteistyöhön hiukkasfysiikan alalla osoitetun määrärahan kehitys 1968-73 (Hiukkasfysiikan komitea)

Vuosi	CERN (FIM)	JINR (FIM)	Yhteensä (FIM)
1968	180 000	-	180 000
1969	230 000	-	230 000
1970	260 000	-	260 000
1971	270 000	50 000	320 000
1972	315 000	65 000	380 000
1973	351 000	122 000	473 000

Kun selvisi, että JINR-yhteistyötä varten tarvittavien lisävarojen saaminen kohtaisi vastustusta tiedehallinnossa, Ydinfysiikan laitoksen puolesta laadittiin asiasta selonteko (*Laurikainen, Roos, Tuominiemi 1972*), joka toimitettiin opetusministeriölle. Siihen liitettiin Dubna-yhteistyöprojektin kustannusarvio sekä aineistoa, joka valaisi yhteistyöneuvottelujen vaiheita ja syntynyttä tilannetta. Dubnan kuplakammioyhteistyötä varten määrärahoja esitettiin tarvittavaksi 270 000 mk vuonna 1974.

Osoittautui, että OPM oli alkanut huolestua uuden tutkimusalan aiheuttamista kustannuspaineista valtion tiedebudjettiin. Se suhtautui kriittisesti edellä mainittuun esitykseen, mutta oli toisaalta myönteinen alan kehittämiseen yleensä. Se painotti myös, että Dubnan yhteistyöhön varattava rahoitus tulisi tapahtua Hiukkasfysiikan komitean kautta. Opetusministeriö saattoi asian edelleen Tiedeneuvoston käsiteltäväksi. Lausunnossaan 7.2.1972 Tiedeneuvosto ilmoitti mm:

> ”Hiukkasfysiikan yhteistyötä tulee jatkaa valtion luonnontieteellisen toimikunnan asettaman hiukkasfysiikan komitean johdolla sekä Euroopan ydintutkimusjärjestön CERNin että JINR:n (Dubnan) tutkimuslaitoksen kanssa siten, että toimintaa tasapainotetaan näiden kahden järjestön välillä. Tavoitteena tulee olla tasapuolinen yhteistoiminta kummankin tutkimuskeskuksen kanssa.
>
> Tiedeneuvosto katsoo, että yhteistyötä CERN:in kanssa voidaan nykyisestä vähentää ja lisätä varoja Dubnan kanssa tehtävän yhteistyön rahoittamiseen.” (*Valtion tiedeneuvoston pöytäkirjat*)

Kannanotto oli kylmä suihku Laurikaiselle ja aiheutti hämmennystä YFL:n hiukkasfysiikan tutkijoissa. Hiukkasfysiikan komitea otti kantaa asiaan kokouksessaan 17.4.1972 (5/72) ja totesi, että vuodelle 1973 esitetyn määrärahan

puitteissa ei suunniteltua yhteistyötä Dubnan tutkimuslaitoksen kanssa voida toteuttaa. Hiukkasfysiikan komitean kanta oli, että ”Dubnan yhteistoiminnan laajentaminen ei voi tapahtua CERNin yhteistyön kustannuksella.”

Tiedeneuvoston lausuma näytti perustuneen paljolti poliittisille näkökohdille ja muiden fysiikan alojen edustajien ilmaisemiin pelkoihin. Kokeellisen hiukkasfysiikan toiminnan laajentuminen herätti huolta muiden alojen fyysikoissa ja määrärahojen lisääminen kohtasi vastustusta. Ala oli uusi ja sen kustannukset katsottiin kohtuuttomiksi Suomen olosuhteissa. Laurikainen ryhtyi puolustamaan alaa tarmokkaasti. Hän pyrki nostamaan esille sen, että hiukkasfysiikan saamat määrärahat Suomessa olivat erittäin pieniä verrattuna esimerkiksi muitten pohjoismaiden kokeelliseen hiukkastutkimukseen osoittamiin määrärahoihin. Suomi ei lisäksi ollut pyrkimässä CERNin jäseneksi, vaikka Laurikainen ottikin jo esille sen, että Suomen pitäisi aikojen muuttuessa harkita uudelleen politiikkaansa kansainvälisiin tutkimusjärjestöihin nähden. Laurikainen torjui myös väitteitä, joitten mukaan tämän uuden alan tutkimukseen rekrytoitujen tutkijoiden koulutus johtaisi ongelmiin heidän sijoittumisessaan ja huomautti, ettei ollut mitään syytä pelätä, että liian suuri määrä fyysikoita koulutettaisiin hiukkasfysiikkaan. Hiukkasfysiikka oli yhteiskunnan kannalta yhtä käyttökelpoinen koulutusala kuin muutkin fysiikan alat. Hiukkasfysiikan tutkimuksessa käytetyt uudet tekniikat edellyttivät laajaa perehtymistä matemaattisten menetelmien, mallien ja tietojenkäsittelyn käyttöön ja laitteiston osalta korkeatasoinen osaaminen elektroniikassa oli välttämätöntä.

2.3. Epävarmuutta Dubna-yhteistyössä 1973–1974

Huhti–toukokuussa 1973 Serpuhovin U-70-kiihdyttimellä tehdyissä Ludmila-ajoissa osoittautui, että kuplakammion kuvat olivat huonolaatuisia ja niiden mittaus vaikeasti toteutettavissa. Ludmila-kammioon päätettiin tehdä parannuksia. Vuoden lopulla loka–marraskuussa yritettiin uudelleen. Ongelmia oli edelleen kammion valaistuksessa ja kiintopisteitten näkyvyydessä. Myös U-70:n antiprotonisuihku oli epävakaa ja sisälsi aluksi häiritsevän paljon myoneja. Näiden kokemusten perusteella päätettiin ryhtyä merkittäviin parannustöihin, jotka veivät noin vuoden ajan. Muun muassa Ludmila-kammion lasit, joitten kautta valokuvaus tapahtuu, päätettiin vaihtaa. Uusi ajo suunniteltiin tehtäväksi syksyllä 1974.

Vastoinkäyminen aiheutti uuden tilanteen Dubna-yhteistyössä. JINRin johto tarjosi osallistumista eräisiin muihin kuplakammiokokeisiin. Ne eivät kuitenkaan YFL:n ryhmän mielestä olleet tieteellisesti riittävän mielenkiintoisia. Silloin tuotiin ehdolle JINR:n toisen tyyppinen koe Serpuhovissa, jossa käytettiin optista kipinäkammiota. Näitä suunnitelmiahan oli meille esitelty jo Dubnan käyntimme yhteydessä v. 1972.

Kipinäkammio on hiukkasilmaisin, jossa törmäyksissä syntyneiden hiukkasten radat saadaan näkyviksi hiukkasten korkeajännitteessä olevien metallilevyjen väliin, ilmaisimen väliaineen kaasussa aiheuttamien sähköpurkausten, kipinöiden, avulla. Nämä valokuvattiin ja näin saatiin hyvin samanlainen tutkimusaineisto kuin kuplakammiokokeissa. Dubna ja Milanon yliopisto suunnittelivat JINR:n rakentamalla laitteistolla koetta (Magnetnogo Iskrovogo Spectrometra, MIS, koe-ehdotus 1973), jossa Serpuhovin kiihdyttimellä tuotettuja suurenergisiä (40 GeV) pioni- ja kaonisuihkuja törmäytettiin metallikohtioon ja tutkittiin ns. diffraktiivista sirontaa atomiytimistä. Kokeella oli tieteellistä mielenkiintoa.

Laurikainen ja JINR-suhteet.

K.V. Laurikainen oli Dubna-suhteita ajaessaan paneutunut asiaan hyvin henkilökohtaisesti. Keskustelimme paljon Dubna-yhteistyön ongelmista ja resurssiemme jakamisesta CERNin ja JINR:n yhteistyön välillä. Itse asettelin CERN-projekteja mielestäni rationaalisesti etusijalle, mutta Laurikainen selvitti omaa kantaansa näin: ”Minusta kulttuurisuhteiden kehittäminen Neuvostoliittoon on Suomelle niin tärkeä asia, että sen vuoksi sinänsä kannattaa jotain tehdä. Olen asettanut viimeiseksi suureksi päämääräkseni ennen syrjään vetäytymistäni näiden suhteiden kehittämisen fysiikassa todella kestävälle pohjalle. Varmin tapa asian ajamiseksi umpikujaan on se, että annamme dubnalaisille sen käsityksen, että väheksymme sitä fysiikkaa, jota he tekevät. Ei meidän ryhmämme taso ole niin hirvittävän korkea, että olisi syytä väheksyä tehtäviä, joita siellä pidetään tutkimisen arvoisina. Jotain konkreettista on nyt saatava aikaan. Vasta sen jälkeen voimme ajatella projektia CERNin suuntaan.”

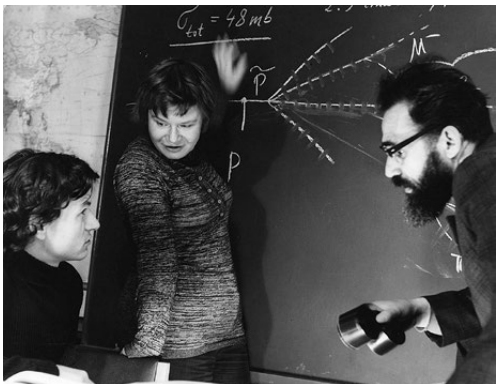
Kuvien mittaukseen YFL:n Sweepnik ei sopinut, ja tarkoitus olikin, että mittaukset tehtäisiin Dubnan ja Bolognan yliopiston Hough-Powell -kuvankäsittelylaitteistoilla. Helsingin roolina olisi mittausaineiston tietokoneanalyysi. Suunnitelmissa oli tuoda 200 000 tapauksen mittaustulokset YFL:een rekonstruoitavaksi. Jälleen YFL:n tietokoneresurssit olivat painava valttikortti. MIS-koetta johti Dubnassa Dr. Oleg Zaimidaroga ja Milanon yliopistossa professori Giorgio Bellini. Tutkimushankkeella oli myös tukiryhmä CERNissä.

MIS-koe oli esillä, kun JINR:n johtaja, akateemikko N.N. Bogolubov vieraili Suomessa 24.2.–2.3.1974. Tuolloin hänelle luovutettiin Helsingin yliopiston filosofisen tiedekunnan 31.3.1973 järjestetyssä promootiossa poissaolevana kunniatohtoriksi promovoidun tohtorin arvon merkit. Akateemikko Bogolubov piti YFL:n suuressa luentosalissa juhlaesitelmän yliopiston rehtorin kutsumalle kuulijakunnalle. Vierailunsa aikana Bogolubov neuvotteli professori K.V. Laurikaisen kanssa YFL:n ja JINR:n yhteistyön tuloksista ja tulevaisuudensuunnitelmista. Neuvotteluista laaditussa pöytäkirjassa, jossa jatkettiin YFL–JINR-yhteistyösopimusta viidellä vuodella, tarjottiin YFL:lle virallisesti mahdollisuutta osallistua MIS-kokeeseen samoin ehdoin kuin Ludmila-kokeeseen.

MIS-koe oli tieteellisesti mielenkiintoinen, mutta sen tekninen toteutus oli vielä epävarma. Lisäksi optinen kipinäkammio oli jo tuolloin vanhanaikainen tutkimuslaite. Laurikainen kuitenkin ajoi voimakkaasti MIS-kokeeseen

osallistumista ja sulki pois liittymisen uusiin CERNissä esillä oleviin projekteihin toistaiseksi.

MIS-kokeeseen osallistumisesta käytiin useita neuvotteluja Dubnassa. Kokeen valmisteluun osallistui lopulta viisi tutkijaa YFL:stä vv. 1974–77, yhteensä 6 tutkijavuotta. Ajot tehtiin Serpuhovissa 1976-77. Koetta varten saatiin VTTK:n UNIVAC 1108 -koneaikaa. Helsingin ryhmä osallistui kipinäkammiokuvien rekonstruktio-ohjelmistojen kehittämiseen (LuK Erkki Kyttälä) ja kokeen simulointiin ja fysiikan analyysiin (FL Esko Hammarén, PhD Shige Miashita, FL Martti Pimiä). Vuosina 1978–1979 kaksi tutkijaa (FL Martti Pimiä, FT Petri Laurikainen) osallistuivat päätoimisesti fysiikan analyysiin. Petri Laurikainen työskenteli Milanon ryhmässä pari kuukautta v. 1976–77 ja Martti Pimiä vuoden ajan 1978–79. Helsingissä rekonstruoitiin v. 1979 noin 70 000 törmäystapausta UNIVAC 1108:lla. Päätutkimusaiheena oli mesonien sironta atomiytimistä ja niiden absorptio ydinaineessa. Referoiduissa lehdissä julkaistuista artikkeleissa neljässä oli tekijöinä Laurikainen ja/tai Pimiä.



Siv-Britt Ljung (keskellä) palaverissa Ludmila-kollaboraation tutkijoiden kanssa Dubnassa (Kuva JINR).

JINR:n varajohtaja Karl Lanius vieraili YFL:llä 7.–8.5.1975 neuvotellessa JINR-yhteistyöstä. Hän tapasi myös Helsingin yliopiston rehtorin. Lanius oli Berliinin Humboldtin yliopiston professori ja Itä-Saksan tiedeakatemian Zeuthenin tutkimuslaitoksen suurenergiafysiikan osaston johtaja.

Ludmila-kammion parannukset tekivät mahdolliseksi uudet ajot vv. 1975–76. Kokeeseen olivat nyt liittyneet myös Bukarestin, Sofian ja Yerevanin yliopistojen tutkimusryhmät. Kokeissa otettiin n. 200 000 kuvaa. Mittaukset saatiin päätökseen v. 1976. Kokeen fysiikan analyysi jatkui 1980-luvun alkuun asti, jolloin kollaboraation käytössä oli 80 000 törmäystapahtuman DST. Fysiikan analyysiin osallistuivat FM Elise Hannula (sittemmin Walck), FM Jouni Ervanne, FT Siv-Britt Ljung, FM Asta Pellinen, FM Heimo Villanen ja FM Pilvi Villanen. Tutkimuskohteina oli mm. resonanssihiukkasten tuotto, annihilaatioprosessit, inklusiiviset hadronintuottoreaktiot, hiukkaskorrelaatiomittaukset ja diffraktiodissosiaatio-prosessit. Tutkimuksista tehtiin kaksi lisensiaattityötä (J. Ervanne, P. Villanen). Helsingin ryhmän panoksen merkittävyydestä kertoo se, että JINRin tieteellinen komitea myönsi Pilvi Villaselle yhdessä yhdeksän muun Ludmila-kollaboraation jäsenen kanssa JINR-palkinnon heidän töistään ”Antiprotoni-protoni-vuorovaikutusten tutkiminen 22,4 GeV/c:llä”.

Serpuhovin U-70-kiihdyttimelle rakennettiin v. 1976 myös 12 GeV:n antideuteronisuihku, jolla tehtiin kokeita Ludmila-kammion avulla vuoteen

Vesa Ruuskanen, Matts Roos ja Mauri Korkea-aho Moskovan rautatieasemalla 13.7.1976.

Matkalla sattuu ja tapahtuu

Hiukkasfysiikankin tutkimustyöhön kuuluvat säännölliset matkat kansainvälisiin konferensseihin seuraamaan alan kehitystä ja raportoimaan omista tuloksista. Yksi sellainen oli matka Tbilisissä 13.–20.7.1976 pidettyyn kansainväliseen hiukkasfysiikan pääkonferenssiin, ns. Rochester-sarjan tapahtumaan.

Matkustin Tbilisiin Mauri Korkea-ahon, Matts Roosin ja Vesa Ruuskasen kanssa. Matkustimme ensin 13.7. yöjunalla Moskovaan ja sieltä lentämällä Tbilisiin. Lentokone, neuvostoliittolainen Tupolev 107, lähti Vnukovon kentältä klo 17:30. Lennettyämme pitkän tovin, kone alkoi valmistella laskeutumista. Mitään kuulutusta ei laskeutumisesta ollut tullut, mitä ihmettelin. Yritin ikkunasta katsoa, missä päin olimme ja hämmästyin, kun näin allamme merta ja rannikkoa. Tbilisi on sisämaassa – jotain oli vialla. Vähän ajan päästä tulikin sitten kuulutus, jossa kerrottiin, että laskeudumme Suhumin kentälle Mustanmeren rannalla (rantakylpyläpaikka, nykyisin Georgiasta eronneen Abhasian aluetta). Tbilisissä oli rankka ukonilma, joten jouduimme odottamaan Suhumissa sään paranemista. Laskeuduimme ja meidät ohjattiin odottamaan lentokentän asemarakennukseen. Asema oli pienehkö, ympyränmuotoinen rakennus. Sen kaikki tilat avattiin meille (meitä oli kaksi koneellista), mutta istumapaikkoja ei riittänyt kaikille. Odottelimme ja odottelimme, mutta mitään ei tapahtunut. Puolalaiset kollegat pyrkivät ottamaan selvää tilanteesta – tuloksetta. Kun sitten yht'äkkiä koneiden miehistöt ilmestyivät rakennukseen kentänpuoleiselle ovelle ja marssivat matkavarusteineen aseman läpi ulos, kävi kohahdus ja venäjän kielen taitoiset ryntäsivät kyselemään miehistöiltä, mistä on kysymys. No, kaikille selvisi pian, että lento oli siltä päivältä ohi, miehistöt poistuivat majapaikkoihinsa. Meni kuitenkin aikaa, ennen kuin saimme oikein kuulutuksen asiasta.

Suhumin hotelleihin majoittuminen oli mahdotonta, joten oli valmistauduttava yöpymiseen asemarakennuksessa, ilman matkatavaroita ja toilettitarvikkeita. Tutkimusmatkat kentän läheiseen alueeseen eivät tuoneet apua muonituspuoleen, mitään ravitsemismahdollisuuksia ei löytynyt. Pari

1979 asti. Kokeissa otettiin 105 000 kuvaa, joista Helsinkiin toimitettiin 6 000 kuvaa. Kuvat eivät olleet kaikki hyvänlaatuisia, ja niistä mitattiin Helsingissä lopulta 2000 reaktiotapausta. Analyysiä tehtiin aina v. 1983 asti, Pilvi Villasen ollessa vastuuhenkilönä SEFLillä. Helsingin osallistuminen Ludmila-kokeeseen hiipui tämän jälkeen tutkijaresurssien puutteessa. Toisaalta JINR alkoi puolestaan siirtää resurssejaan CERNin LEP-törmäytinkokeisiin, joiden suunnittelu aloitettiin v. 1984. Helsinki (SEFL) liittyi mukaan DELPHI-kokeeseen ja ryhtyi yhteistyössä Dubnan ryhmän kanssa rakentamaan sen hadronikalorimetriä. Näin Dubna-yhteistyö jatkui vielä 1980-luvun ajan.

rähjäistä baaria vain. Olimme Vesa Ruuskasen kanssa vähän hitaita, emmekä saaneet yöpaikkaa rakennuksen pehmustetuilta penkeiltä. Tarkistimme kellarin ja löysimme telttatuolit, joihin sitten asetuimme nukkumaan miesten WC:n oven viereen. Vähän sen jälkeen saapui vielä ainakin yksi kone, nyt Pariisista, täynnä fyysikoita sekin. Yöpymispaikkamme ei ollut mitenkään miellyttävä ja Matts Roos saikin oivan idean. Ulkona oli leppeä, lämmin Mustanmeren yö ja hän ilmoitti meille siirtyvänsä nukkumaan ulos. Kului aikansa ja Matts palasi takaisin – ulkona juoksenteli pieniä porsaita, jotka tulivat kärsällään tökkimään nukkuvaa. Lentokenttää erotti Mustanmeren rannasta sotilaslentokenttä, joka oli teräsverkkoaidalla reunustettu. Joukko englantilaisia kollegoita pääsi kuitenkin sen sivuitse hiekkarannalle ja nukkui siellä.

Mauri Korkea-aho ja Jorma Tuominiemi vierailulla Tbilisin Suurenergiafysiikan laitoksella. Toinen oikealta Ludmila-ryhmän johtaja, professori Tsyntsadze. Keskellä oppaamme Rusico Tsutsunashvili.

Aamuvarhaisella Vesa oli lähtenyt tutkimusmatkalle ja löytänyt kauppiaan, joka möi lämpimiä lihapiirakoita kärrystä. Se oli kuin taivaan lahja. Juomista en enää muista. No, aamupäivällä sitten koneiden miehistöt palasivat, nyt runsaiden aplodien tervehtimänä, ja lähdettiin jatkamaan matkaa kohti Tbilisiä. Tällä kertaa pääsimme perille ja kuljetus hotellillekin toimi. Hotelli, korkea neuvostoarkkitehtuurin ankea luomus, oli upouusi ja osin keskeneräinen. Muun muassa hissit eivät vielä toimineet – ainakaan kaikki. Jaoimme Vesan kanssa huoneen. Peseydyimme ja lähdimme konferenssipaikalle.

Konferenssi sujui hyvin. Esitykset olivat, kuten aina näissä hyvin järjestetyissä tapahtumissa, korkeatasoisia ja mielenkiintoisia ja olimme tyytyväisiä. Oppaana Tbilisissä meillä oli viehättävä georgialaisneitonen nimeltään Rusico Tsutsunashvili. Kaupunki oli viehättävä ja ekskursiomatkat Tbilisin viereiselle Mtatsminda-vuorelle ja Etelä-Ossetian vuoristoiselle maaseudulle olivat mielenkiintoisia. Sää oli miellyttävä ja aurinkoinen. Saimme maistaa Josif Stalinin mieliviiniä (Kindzmarauli) ja muita georgialaisia viinejä sekä paikallisia herkkuja. Teimme Korkea-ahon kanssa myös vierailun Tbilisin Suurenergiafysiikan laitokseen. Laitos oli kanssamme yhteistyössä Ludmila-kokeessa.

2.4. Helsingin kokeellinen ryhmä 1970-luvun puolivälissä

YFL:n kokeellinen ryhmä oli 1970-luvun puolivälissä aktiivinen useissa hiukkasfysiikan kokeissa, joitten mittausvaiheet menivät osin lomittain. Mittauskapasiteetti kuitenkin riitti kokeiden filmien käsittelyyn. YFL:n suurenergiafysiikan tutkimusryhmään kuului 1970-luvun puolivälissä laitoksen yliassistentti, kahdeksan assistenttia, amanuenssi ja kaksi laboratorioinsinööriä. Näistä kolme oli väitellyt (J. Tuominiemi, V. Karimäki, Siv-Britt Ljung) muiden ollessa lisensiaattivaiheessa tai valmistelemassa väitöskirjaa (Veli-Matti Hagman, Elise Hannula, Jouni Ervanne, Esa Riipinen, Heimo Saarikko,

YFL:n henkilökuntaa päiväkahvilla Siltavuorenpenkereellä 1976. Vasemmalta Mauri Korkea-aho, Veikko Karimäki, Tapani Perko (TFL), Risto Orava, Veli-Matti Hagman, Kirsti Kamppuri, Tapio Vehviläinen, Antti Numminen, Siv-Britt Ljung, Elise Hannula, Jaakko Mäkelä ja Pertti Nummi.

Heimo Villanen, Pilvi Villanen). Lisäksi ryhmään kuului viisi atk-suunnittelijaa, yksi osapäiväinen suunnittelija ja laboratorioinsinööri Ydinfysiikan laitoksen laskentatoimistosta (YLT). Näistä kaksi (Petri Laurikainen, Mauri Korkea-aho) olivat väitelleet. Hiukkasfysiikan komitean määrärahalla työskenteli ryhmässä vielä kaksi tutkimusassistenttia.

Ydinfysiikan laitokselta valmistui tässä vaiheessa vuosittain noin viisi filosofian kandidaattia ja yhdestä kolmeen lisensiaattia. Useita hiukkasfysiikan koulutuksen saaneita oli jo tähän mennessä sijoittunut paitsi tutkijoiksi, opettajiksi sekä tietojen käsittely- ja instrumentaatiotehtäviin eri tahoilla.

Rahoituksen pääosa palkkoja lukuun ottamatta tuli Hiukkasfysiikan komitealta (noin 700 kmk/v), YLT:ltä (n. 260 kmk/v) ja YFL:n perushankintamäärärahoista (n. 140 kmk/v). Palkat olivat kaikkiaan noin 1,4 Mmk/v. Ottamalla huomioon assistenttien opetusvelvollisuudet voitiin arvioida, että efektiivisesti ryhmä vastasi noin 12 fyysikon yksikköä, jonkalaista CERN oli ehdottanut yhteistyön alkuvaiheessa 1968. Tutkimusta CERNissä ja Dubnassa yhtäaikaisesti ei tällä resurssilla kuitenkaan voitu tehokkaasti hoitaa ja käytännössä oli suunniteltava tutkimus projektikohtaisesti. Vuosikymmenen toisella puoliskolla katsottiin tieteellisesti perustelluksi pitää painopistettä CERNin projekteissa ajatuksella saavuttaa tasapainoa Dubnan kanssa pidemmällä aikavälillä. Tutkimuksessa tarvittava tietokoeaika oli 70-luvulla saatu pääasiassa Opetusministeriön UNIVAC 1108 -koneelta, josta YFL:n suurenergiafysiikan tutkimusryhmä käytti vuosittain 1,0–1,6 miljoonaa resurssiyksikköä.

Kokeellisen hiukkasfysiikan resurssit eivät olleet yhtenäisen organisaation alla, vaan tutkimusta tukivat HY:n matemaattis-luonnontieteellisen osaston alainen YFL, konsistorin alainen YLT ja Suomen Akatemian Hiukkasfysiikan komitea. Järjestely oli syntynyt pitkäjänteisen työn tuloksena, jota professori K.V. Laurikainen oli tehnyt YFL:n ja YLT:n esimiehenä tutkimuksen edellytysten luomiseksi Helsingin yliopistossa. Tilanne ei ollut tyydyttävä kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimuksen tulevaisuuden kannalta, sillä ala vaatii pitkän tähtäimen suunnittelua kokeiden pitkän suunnittelu- ja rakennusaikataulun vuoksi sekä fysiikan analyysiin tarvittavan tietokoneajan varmistamiseksi. Jo 70-luvulla kokeiden aikataulu oli vähintään viitisen vuotta.

Toinen epäkohta oli, että kokeellisen hiukkasfysiikan kansainvälisen yhteistoiminnan aiheuttamat vaatimukset ja suuri aputyövoiman tarve sopivat käytännössä huonosti yliopistossa tiedekunnan alaiselle opetuslaitokselle.

2.5. SEFT-hanke, SEFL ja YLT:n jako 1975–1978

K.V. Laurikainen teki helmikuussa 1975 Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteelliselle osastolle esityksen suurenergiafysiikan tutkimusyksikön perustamisesta yliopiston konsistorin alaisuuteen (*Laurikainen 1975*). Mallina oli paljolti v. 1964 perustettu Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitos. Laurikainen korosti esityksessään, että kyseessä ei ollut lisämäärärahojen saamiseen tähtäävä toimenpide vaan organisaation muutos, jonka avulla pyrittäisiin varmistamaan kokeellisen alkeishiukkasfysiikan jatkuvuus Helsingin yliopistossa. Laurikainen oli vuoden 1974 aikana käynyt tutustumassa useisiin yhdysvaltalaisiin sekä itäeurooppalaisiin kokeellista hiukkasfysiikkaa harjoittaviin yliopistoihin ja tutkimuslaitoksiin. Hänelle oli muodostunut tämän perusteella selkeä käsitys, että kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimus oli parhaiten toteutettavissa tiedekunnasta riippumattomissa tutkimuslaboratorioissa. Laurikainen kirjoitti asiasta myös mielipidekirjoituksen Helsingin Sanomiin 13.2.1975, jossa hän esitti huolestumisensa suurenergiafysiikan tutkimuksen jatkumisesta Suomessa ja erityisesti sen tietojenkäsittelyresurssien kehittämisestä kansainvälisiä tehtäviä vastaavalle tasolle.

Laurikaisen Helsingin yliopistolle tekemän ehdotuksen mukaan suurenergiafysiikan tutkimusyksikköä perustettaessa lakkautettaisiin matemaattis-luonnontieteellisen osastoon kuuluva ydinfysiikan laitos (YFL) ja yliopiston laskentakeskuksen alaisena toimiva ydinfysiikan laskentatoimisto (YLT). Näiden laitosten henkilökunta esitettiin siirrettäväksi perustettavaan suurenergiafysiikan tutkimuslaitokseen lukuun ottamatta ydinfysiikan professorin ja ydinfysiikan apulaisprofessorin virkoja sekä kahta YFL:n assistentin tointa, jotka siirrettäisiin Helsingin yliopiston Fysiikan laitokseen. YLT:n henkilökunta siirtyisi perustettavaan tutkimusyksikköön, mutta tekisi suurenergia-

fysiikan atk-tehtävien lisäksi kaikkia niitä fysiikan palvelutehtäviä, mitä sillä oli yliopiston laskentakeskuksen alaisuudessa.

Matemaattis-luonnontieteellinen osasto siirsi asian yliopiston konsistorin käsiteltäväksi. Pieni konsistori päätti kokouksessaan 19.3.1975 asettaa toimikunnan asian tarkempaa käsittelyä varten. Toimikunnan puheenjohtajaksi määrättiin Kemian laitoksen professori J. J. Lindberg ja jäseniksi professorit K.V.Laurikainen, Antti Siivola sekä VTT:n pääjohtaja Pekka Jauho. Lisäksi konsistori pyysi Suomen Akatemiaa ja Opetusministeriötä nimittämään yhden jäsenen. Akatemia ja OPM kuitenkin päättivät asettaa vain asiantuntijoita komitean käytettäväksi.

Konsistorin asettama toimikunta puolsi Laurikaisen esitystä mietinnössään 25.6.1975 ja laati ehdotuksen uuden tutkimusyksikön, Suurenergiafysiikan tutkimuslaitoksen (SEFT) johtosäännöksi. Toimikunta teki kuitenkin muutoksen Laurikaisen esitykseen koskien YLT:n henkilökuntaa. Se ehdotti, että YLT:a ei siirrettäisi kokonaan YFL:een, vaan se jaettaisiin niin, että kuusi YLT:n tointa ja yksi 2/3 toimi siirrettäisiin yliopiston laskentakeskukseen perustettavaan uuteen jaostoon, joka huolehtisi muun kuin suurenergiafysiikan atk-palveluista. Professori Laurikainen esitti ehdotukseen eriävän mielipiteen, jossa hän katsoi, että YLT voisi tarkoituksenmukaisesti palvella kaikkien alojen fyysikkoja jakamattomana SEFT:ssa. ”YLT oli syntynyt voimakkaasta, tosiasiallisesta paineesta ja oli tuolloin tehokas fysiikkaa palveleva yksikkö”. Aloite muutokseen tuli yliopiston laskentakeskuksen taholta, joka halusi keskittää fysiikan atk-palveluita Helsingin yliopistossa. Toimikunta teki myös toisen lisäyksen alkuperäiseen esitykseen. Se ehdotti, että tutkimusapulaiset jotka oli palkattu hiukkasfysiikan komitean (Suomen Akatemian) varoilla (vastaten noin 12 täyspäiväistä tointa), siirretään myös SEFTiin.

Ehdotuksesta pyydettiin seuraavaksi lausunto Suomen Akatemialta, matemaattis-luonnontieteelliseltä osastolta, Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunnalta ja Helsingin yliopiston laskentakeskuksen johtokunnalta. Akatemia lähetti sille tulleen lausuntopyynnön edelleen Tieteen keskustoimikunnalle ja Luonnontieteelliselle toimikunnalle. Kaikissa lausunnoissa esitykseen suhtauduttiin myönteisesti. Tieteen keskustoimikunta oli tosin varautunut viitaten Valtion tiedeneuvoston linjaan, ettei uusia erillisiä tutkimuslaitoksia pitäisi perustaa. Yhtenä yksityiskohtana lausunnoissa pohdittiin sitä, pitäisikö laitos perustaa yliopiston konsistorin vai matemaattis-luonnontieteellisen osaston alaisuuteen. Eniten keskustelua herätti YLT:n jakoehdotus. Laskentatoimiston johtokunta, johon myös professori Laurikainen kuului, esitti lausunnossaan yhdeksän toimen jättämistä SEFTin ulkopuolelle, osaksi laskentakeskusta. Päätökseen oli päädytty 18.9.1975 pidetyssä johtokunnan kokouksessa tiukan äänestyksen jälkeen, jossa puheenjohtajan professori Martti Tienarin kanta voitti vähemmistön kannattaman esityksen, jossa esitettiin koko YLT:n liittämistä SEFTiin tai vaihtoehtoisesti

kahden tai kolmen toimen jättämistä SEFTin ulkopuolista palvelutoimintaa varten. Laskentatoimiston johtokunta ”piti toivottavana, että organisaatiouudistus ainakin jossakin muodossa toteutuu …. Uusi organisaatiomuoto selkeyttäisi oleellisesti toimintaa ja laskentakeskuksen johtokunnan ei tarvitsisi enää käsitellä hiukkasfysiikkaan liittyviä tiedepoliittisia ongelmia.” Suomen Akatemian lausunnossa puolestaan suljettiin pois mahdollisuus, että sen varoilla rahoitettuja toimia voitaisiin siirtää SEFTin alaisuuteen.

Saatuaan lausunnot konsistorin asettama toimikunta laati vuoden 1975 lopulla uuden johtosääntöehdotuksen, ottaen huomioon eri lausunnoissa esitettyjä näkökohtia. YLT:n jakamisesta se totesi vain yleisesti, että se on tehtävä niin, ettei kukaan jää sen johdosta työttömäksi ja ettei kenenkään palkka laske.

SEFTin perustamiskeskustelu kiertyi siis YLT:n jaon ympärille. Jaosta taitettiin peistä edelleen keväällä 1976. Professori Laurikainen oli virkavapaana vuoden 1976 työskennellessään Oxfordissa, Stanfordissa Yhdysvalloissa ja CERNissä, mutta hän seurasi tarkasti SEFT-esityksen käsittelyä. Helsingin yliopiston konsistorissa YLT:n jako oli jälleen esillä kesäkuun 2. päivänä 1976 pidetyssä kokouksessa. Se asetti uuden työryhmän tekemään ehdotuksen siitä, ”mitkä Ydinfysiikan Laskentakeskukseen kuuluvat resurssit siirretään 1.1.1977 ydinfysiikan laitokseen ja mitkä jäävät Laskentakeskukseen ehdotettuun fysiikan palvelujaokseen.” Työryhmän puheenjohtajaksi konsistori määräsi professori Antti Siivolan ja jäseniksi professori Martti Tienarin, vt. professori Jorma Tuominiemen, YLT:n jaostopäällikkö Mauri Korkea-ahon ja yliopiston toimistopäällikkö Antero Kokkosen. Työryhmälle annettiin aikaa 30.9.1976 asti. Se päätyi ehdottamaan, että kaksi lisävakanssia siirrettäisiin yliopiston Laskentatoimiston fysiikan jaokseen verrattuna aiempaan ehdotukseen. Ryhmän jäsenet Korkea-aho ja Tuominiemi toisaalta esittivät, ettei lopullisesta jakoehdotuksesta vielä pitäisi päättää, koska päätöstä SEFTin perustamisesta ei ollut vielä tehty.

SEFTin perustamishanke näytti jämähtäneen paikalleen. YLT:n jakamista puitiin edelleen vuoden 1977 syyskuuhun, jolloin rehtori Palmén pyrki laukaisemaan tilannetta mm. Pörssiklubilla järjestetyssä tapaamisessa professorien Bergström, Kajantie, Laurikainen, Lehto, Siivola, vt.professori Tuominiemen ja osastopäällikkö Matti Malmbergin kanssa. YLT:n jakoa käsiteltiin myös fysiikan professoreiden ja apulaisprofessoreiden neuvottelussa 30.9.1977. Tämän neuvottelun tuloksena tehtiin uusi ehdotus, jossa YLT:stä siirrettäisiin vain 2-3 tointa laskentakeskukseen ja muu osa YLT:n henkilökunnasta liitettäisiin suurenergiafysiikan tutkimusyksikköön. SEFTin tehtäväksi jäisi myös muun fysiikan palvelu tietojenkäsittelytehtävissä samassa laajuudessa kuin oli tapahtunut aiemminkin, kuten Laurikaisen alkuperäisessä ehdotuksessa oli esitetty.

Professori Laurikainen teki tämän jälkeen vielä uuden ehdotuksen, joka pohjautui suurelta osin fysiikan professoreiden esitykseen. Hän korosti, että

joka tapauksessa olemassa olevaa YFL/YLT-järjestelyä oli muutettava varsinkin Dubnan tutkimuslaitoksen kanssa tehtävän yhteistyön vuoksi, sillä se edellytti riittävien laskentaresurssien varmistamista ydinfysiikan laitoksen käyttöön. Laurikaisen ehdotuksesta pyydettiin taas Laskentakeskuksen johtokunnan lausuntoa. Kokouksessaan 9.12.1977 Laskentakeskuksen johtokunta kannatti kuitenkin YLT:n tilanteen säilyttämistä ennallaan, SEFTistä erillisenä laitoksena. Toiseksi parhaana järjestelynä se piti Siivolan työryhmän v. 1976 tekemää ehdotusta.

SEFTin perustamista oli nyt pohdittu kolmatta vuotta. Nyt sille tuli loppu. Konsistori päätti kokouksessaan 21.12.1977, ettei suurenergiafysiikan tutkimusyksikköä tuossa vaiheessa perusteta. Lisäksi se määräsi professori Laurikaisen YLT:n esimieheksi 1.1.–28.2.1978 sekä sen aikana selvitettäväksi, miten ydinfysiikan laitoksen laskentaresurssit kansainvälistä toimintaa varten voidaan turvata ilman SEFTin perustamista. Oltiin siis takaisin lähtöruudussa – lähes kolmen vuoden väännön jälkeen.

Näiden päätösten jälkeen professori Laurikainen totesi matemaattis-luonnontieteelliselle osastolle lähettämässään lausunnossa, että kun SEFTiä ei perusteta, YFL tulee toimimaan edelleen suurenergiafysiikan tutkimus- ja opetusyksikkönä Helsingin yliopistossa. Koska laitoksen toiminta oli miltei kokonaan suuntautunut suurenergiafysiikan alalle, ja varsinainen ydinfysiikka oli vakiintuneen käytännön mukaan keskittynyt Fysiikan laitokseen, oli asianmukaista muuttaa Ydinfysiikan laitoksen nimeksi Suurenergiafysiikan laitos (SEFL) sekä ydinfysiikan professorin virka alkeishiukkasfysiikan professorin viraksi. Näin tehtiin.

Laurikainen ryhtyi myös heti aktiiviseksi konsistorin päätöksen toisen osan selvittämisessä. Hän lähetti 16.1.1978 laskentakeskuksen johtokunnalle kirjelmän, jossa hän esitti YLT:n henkilökunnan pääosan siirtämistä SEFLiin, mutta niin että jäljelle jäävän YLT:n palvelutoimintojen luonne ja volyymi säilyivät entisellään. Esitetty organisaatio oli suunniteltu sellaiseksi, että SEFT-esitys voitaisiin sen pohjalta toteuttaa välittömästi, jos konsistori tulisi myöhemmin vakuuttuneeksi siitä, että kyseisen tutkimuslaitoksen perustaminen on aiheellista. Toisena mahdollisuutena Laurikainen esitteli kirjelmässään YLT:n henkilökunnan tekemän esityksen, jossa YLT säilyisi edelleen laskentakeskuksen johtokunnan alaisena yksikkönä, mutta sen esimieheksi nimettäisiin SEFLin esimies ja se jaettaisiin suurenergiafysiikan jaostoksi ja palvelujaostoksi, joka jälkimmäinen ottaisi tehtäviä muilta laitoksilta.

Esitystä seuranneissa lausunnoissa SEFLin henkilökunta painotti, että oleellisin kysymys oli suurenergiafysiikan atk-resurssien saattaminen saman laitoksen puitteisiin. Katsottiin, että vain tällä tavalla voitiin taata edellytykset suunnitelmalliselle kansainväliselle suurenergiafysiikan tutkimukselle pitkällä tähtäimellä. Rehtori Palmén kuulusteli vielä SEFLin henkilökuntaa muistion johdosta. Nyt asia kypsyi nopeasti ja YLT:n jaossa päädyttiin ratkaisuun, jossa 11 henkilöä siirtyi SEFLin henkilökuntaan ja 9 jäi yliopiston

laskentakeskuksen johtokunnan alaiseen erillislaitokseen, jonka tehtävänä oli palvella muun fysiikan ja kemian aloja. Tämä järjestely astui voimaan 1.9.1978. Uuden erillislaitoksen nimeksi tuli Fysiikan laskentatoimisto. Sen päälliköksi nimitettiin YLT:n jaostopäällikkö Mauri Korkea-aho.

Näin suurenergiafysiikan resursseja saatiin yhdistettyä, mutta tutkimuslaitosta ei saatu perustetuksi. Järjestely toimi kuitenkin hyvin koko 80-luvun. Asiaan palattiin, kun CERNin jäseneksi liittyminen tuli ajankohtaiseksi.

2.6. Johtajavierailuja 1979

Keväällä 1979 SEFL sai yllättäen tiedon Dubnasta, että JINR:n johtaja, akateemikko Nikolai Nikolajevits Bogolubov halusi vierailla Helsingissä kesällä. Vastasimme Laurikaisen kanssa ottavamme hänet mielellämme vastaan ja järjestimme yliopiston rehtorin lähettämään kutsukirjeen Dubnaan. Bogolubov saapui 18.6.1979 vaimoineen junalla Moskovasta. Olin vastassa Laurikaisen kanssa, paikalla oli myös Neuvostoliiton suurlähetystön edustaja. Helsingin yliopisto oli majoittanut Bogolubovin hotelli Intercontinentaliin, johon vein hänet. Illalla kansleri Ernst Palmén tarjosi Bogoluboville illallisen ravintola Königissä. Rehtori Nils Oker-Blom oli matkoilla, joten Palmén hoiti homman. Huolehdin käytännön järjestelyistä ja olin vastassa vieraita Königissä. Ilta oli värikäs, Palmén isännöi tilaisuutta tapansa mukaan suvereenisti. Seuraavana päivänä Suomen Akatemia tarjosi lounaan professori Gyllenbergin isännöidessä. Päivää myöhemmin oli Opetusministeriön vuoro, ministeri Kalevi Kivistö tarjosi lounaan Kauppakillassa. Lounaalla oli mukana mm. professorit Jorma Routti ja Olli Lounasmaa.

Vierailu sattui juhannuksen aikaan, mistä aiheutui pikku järjestelyjä ja päänvaivaa. Palmén suositteli juhannuksen viettoa Helsingin yliopiston tiloissa Suitian kartanolla, mutta lopulta päädyimme yliopiston Tvärminnen asemalle perinnöllisyystieteen professori Olli Halkan ystävällisellä avustuksella ja vuorovaikutuksella. Juhannusaaton päivällinen nautittiin Hangon kasinolla Halkan isännöimänä ja illalla Bogolubov esikuntineen järjesti meille isännille iltapalatarjoilun kaviaareineen ja vodka-maljoineen.

Seuraavana päivänä Bogolubov matkusti Jyväskylään vierailemaan Jyväskylän yliopiston Fysiikan laitoksella, jonka kanssa JINR oli yhteistyössä ydinfysiikan alalla. Hän palasi Helsinkiin 27.6. ja Moskovaan 30.6. Saatoimme Laurikaisen kanssa hänet ja hänen vaimonsa junalle.

JINR kutsui minut SEFLin esimiehenä vastavierailulle 9.–15.7.1979 Dubnaan, jossa laitoksen johtaja professori Bogolubov otti minut virallisesti vastaan. Kutsu koski myös vaimoani. Yhteysupseerinani toimi JINR:n kansainvälisen osaston johtaja Viktor Shvanev, joka oli jo vanha tuttu aikaisemmilta Dubnan vierailuiltani. Minulla oli tilaisuus vierailla myös Protvinossa, Serpuhovin Suurenergiafysiikan laitoksessa 11.–12.7. Siellä minut otti vastaan

instituutin johtaja professori L.D. Soloviev. Tapasin tässä yhteydessä myös Dr. Viktor Yarban, jonka kanssa olin työskennellyt 60-luvun lopulla CERNissä Dr.Yves Goldschmidt-Clermontin johtamassa ryhmässä. Shvanev järjesti meille myös turismia ja kulttuuritilaisuuksia, jotka olivat antoisia.

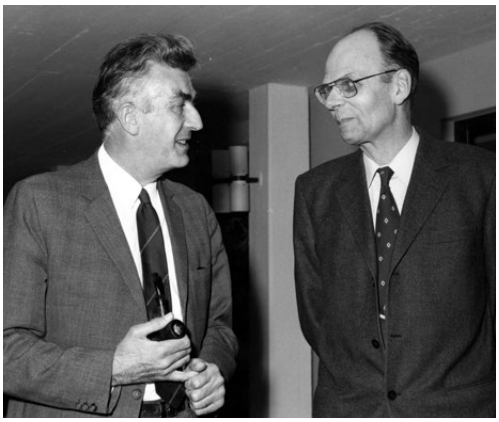
2.7. Uudet tutkimushankkeet CERNissä 1970-luvulla

Hiukkasfysiikan kokeellinen tutkimus otti 70-luvulla suuria edistysaskelia. Ensinnäkin siirryttiin suuremmille törmäysenergioille, kun sekä CERNissä että Fermin kansallisessa laboratoriossa (FNAL) Chicagon lähellä Yhdysvalloissa saatiin käyttöön 300 GeV:n protonisynkrotronit. Toiseksi, kokeet elektronisuihkuilla Stanfordin Lineaarikiihdytinlaboratoriossa ja neutriinosuihkuilla CERNissä ja Fermin laboratoriossa toivat uutta tietoa sähköisen ja heikon vuorovaikutuksen reaktioista sekä protonien rakenteesta. Uudet mittaukset tukivat Weinbergin ja Salamin v. 1967 esittämää GWS-teoriaa ja vaikuttivat uusien hankkeiden suunnitteluun.

Sekä CERNissä että Fermin kansallisessa laboratoriossa suurempien kiihdyttimien suunnittelu oli aloitettu jo 1960-luvulla. Hiukkastörmäysten energiaa kasvattamalla voitiin tuottaa entistä raskaampia hiukkasia, joilla oli merkitystä aineen perusrakenteen teorioiden testaamisessa. CERN sai ensin valmiiksi v. 1971 Intersecting Storage Ring -törmäyttimen, joka koostui kahdesta limittäin sijoitetusta synkrotronista, joihin ohjattiin PS-kiihdyttimestä protonisuihkut kulkemaan vastakkaisiin suuntiin. Synktrotronit toimivat varastointirenkaina, suihkut saattoivat kiertää niissä pitkiä aikoja (tyypillisesti 20 h). Synkrotronien protonisuihkut ohjattiin törmäämään kahdeksassa kohdassa, jolloin saatiin aikaan pp-törmäyksiä, joiden energia oli maksimissaan 62 GeV. Konventionaalisella suihku-kohtio-järjestelyllä tällaisen energian saamiseen olisi tarvittu synkrotroni, jonka suihkuenergia olisi n. 2000 GeV, jonkalainen oli tuolloisella teknologialla mahdotonta rakentaa. Suihkujen leikkauskohtiin rakennettiin suuret hiukkasilmaisinlaitteistot, jotka koostuivat tuohon aikaan käytössä olleista elektronisista ilmaisimista. ISR-kokeisiin osallistumista harkittiin myös pohjoismaissa, mutta lopulta vain Kööpenhaminan ryhmä Scandinavian Collaboration -konsortiosta lähti tälle tielle. ISR:llä saatiin paljon uutta tietoa suuren energian hadronisista vuorovaikutuksista, ja toisaalta sillä oli suuri merkitys hiukkastörmäyttimien fysiikan ja teknologian kehittämisessä. Tämä tuli myöhemmin näyttelemään merkittävää osaa CERNin SPS-törmäyttimen, LEP-törmäyttimen ja LHC:n menestyksellisessä suunnittelussa ja rakentamisessa.

CERNissä oli 1960-luvun loppuun mennessä saatu valmiiksi suunnitelmat PS:n seuraajan 300 GeV:n Super Proton Synchrotron (SPS) -kiihdyttimen rakentamisesta. Tähtäimessä oli saada se käynnistettyä v. 1976, mikä toteutuikin. Aluksi ajateltiin, että SPS:n sijoituspaikaksi rakennettaisiin

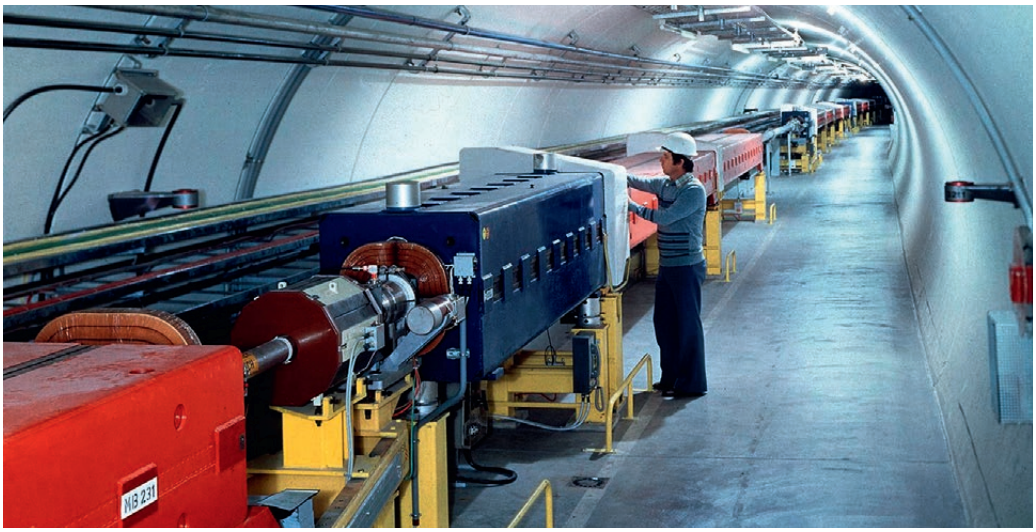
CERN-järjestön siipien suojassa toinen hiukkasfysiikan laboratorio muualle Eurooppaan. Sijoituspaikan valinta osoittautui kuitenkin poliittisesti vaikeaksi, ja kädenvääntö asiasta hidasti päätöstä laitteen rakentamisesta. Lopulta aiemmin CERNin PS-kiihdyttimen rakentamista johtanut englantilainen Dr. John Adams esitti, että olisi sittenkin kustannustehokkainta rakentaa SPS Geneven laboratorion yhteyteen. Tarvittava infrastruktuuri oli olemassa ja ennen kaikkea PS-kiihdytintä voitiin suoraan käyttää SPS:n ”esikiihdyttimenä”. Adams sai CERNin neuvoston vakuuttuneeksi ratkaisun eduista, päätös tehtiin ja rakennustyöt aloitettiin. SPS-tunneli sijoitettiin CERNin laboratorion alueen viereen, suureksi osaksi Ranskan puolelle rajaa. Jälkeenpäin katsoen päätös rakentaa SPS CERNin alueen yhteyteen osoittautui oikeaksi ratkaisuksi. Se loi pohjan monipuolisen ja aina viimeistä teknologiaa hyödyntäneen kiihdytinkompleksin rakentamiselle CERNiin. Samalla se loi perustan CERNin asemalle johtavana hiukkasfysiikan laboratoriona maailmassa. Aluksi SPS-hanketta varten perustettiin alkuperäisiä suunnitelmia seuraten Laboratorio no. 2, jolle tuli oma pääjohtaja, John Adams. Laboratoriot yhdistettiin v. 1976 alussa, mutta kahden pääjohtajan järjestelyä jatkettiin niin, että John Adams nimitettiin toimeenpanevaksi pääjohtajaksi ja Léon Van Hove tutkimuksesta vastaavaksi pääjohtajaksi. Vuonna 1981 palattiin yhden pääjohtajan järjestelyyn Adamsin ja Van Hoven kausien päätyttyä. Uudeksi pääjohtajaksi valittiin professori Herwig Schopper, joka oli toiminut pitkään CERNin kokeellisen osaston johtajana.



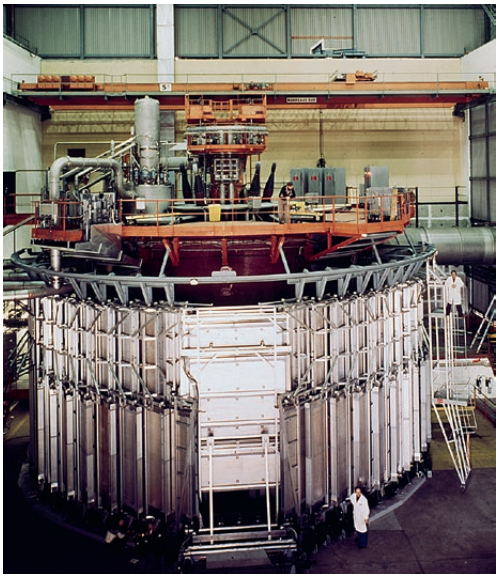
CERNin pääjohtajat 1976-1981. John Adams vasemmalla, Léon Van Hove oikealla. Van Hove promovoitiin Helsingin yliopiston kunniatohtoriksi v. 1984. Hän oli CERNin johdossa, kun Suomen ja CERNin ad hoc suhteita muodostettiin ja hänellä oli useita yhteisjulkaisuja suomalaisten hiukkasfyysikoitten kanssa. (Kuva CERN)

SPS:lle rakennettavien kokeiden suunnittelu aloitettiin jo 60-luvun lopulla. Kuplakammio oli vielä tuolloin tärkein käytössä ollut ilmaisin. Gargamellekammiolla CERNissä havaittiin vuonna 1973 ensimmäiset ns. neutraalivirran reaktiot PS:llä tuotetussa neutriinosuihkulla tehdyssä kokeessa. Tämä tuki vahvasti GWS-teoriaa heikoille vuorovaikutuksille.

Mittavin uusista ilmaisinhankkeista CERNissä oli suuren kuplakammion (BEBC, Big European Bubble Chamber) rakentaminen. BEBC:n läpimitta oli 3,7 m ja magneetin kenttä 3,5 T. Hankkeen rahoitus tuli suurimmaksi osaksi CERNin vuosibudjetin ulkopuolelta (Saksa, Ranska). Gargamellen rakentaminen Ranskassa (Ecole Polytechnique) ja BEBCin rahoitus olivat ensimmäinen iso askel kohti nykyistä työnjakoa, jossa CERN huolehtii lähinnä

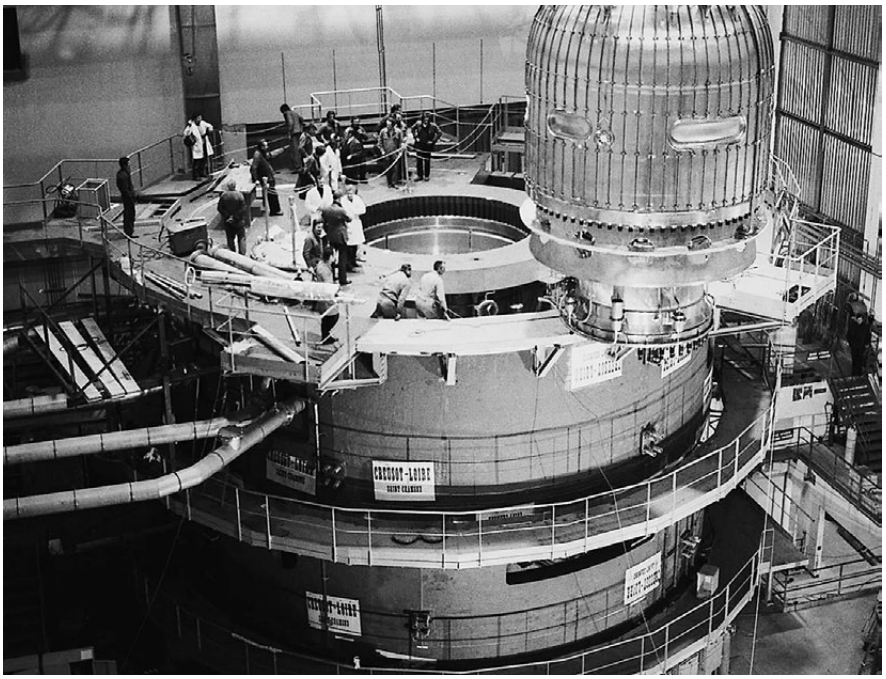


CERNin Super Proton Synchrotron, SPS. Kiihdytin sijaitsee maanalaisessa rengastunnelissa, jonka pituus on 9 km. Kuvassa näkyvät punaiset magneetit ovat taivutusmagneetteja, jotka ohjaavat hiukkassuihkut kulkemaan pitkin synkrotronirengasta. Siniset magneetit ovat kvadrupolimagneetteja, joilla hiukkassuihkuja fokusoidaan. (Kuva CERN)



BEBC-kuplakammio on sijoitettu paikalleen 1972. Sitä ympäröi verrannollisuuslankakammioista rakennettu järjestelmä, jolla havaitaan suojuksen läpi tulleet törmäyksissä syntyneet myonit. (Kuva CERN)

kiihdyttimien rakentamisesta, niiden operoinnista ja kokeiden infrastruktuurista, kun taas CERNin kanssa yhteistyössä olevien yliopistojen ja tutkimuslaitosten muodostamat tutkijaryhmät (kollaboraatiot) suunnittelevat ja rakentavat koelaitteistot kiihdyttimien yhteyteen. Näitten hankkeiden hyväksyminen tehdään CERNin päätöksinä sen asettamien ”peer review” -asiantuntijakomiteoiden suositusten perusteella. BEBC sijoitettiin CERNin Länsihalliin, jolloin siihen voitiin ohjata hiukkassuihkuja PS:stä ja näin testata kammion toimintaa ennen SPS:n valmistumista. Suuren kuplakammion rakentamiselle oli useita perusteita. Suurempi volyymi tehosti törmäyksissä syntyvien neutraalien hiukkasten havaitsemista. Lisäksi käyttämällä nestemäistä neonia kammion täyttöaineena voitiin tehdä kokeita myös neutriinosuihkuilla. Ensimmäiset kuvat BEBC:ssa otettiin vuonna 1973 PS:n suihkuilla.

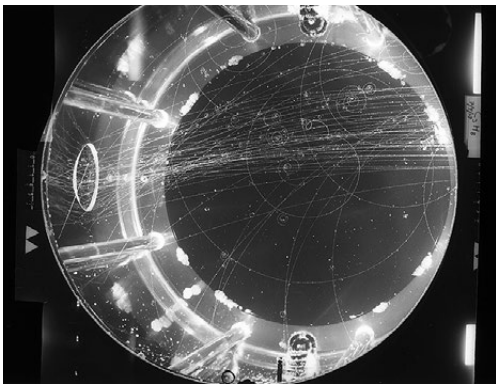


BEBC-kuplakammiota asennetaan betonisuojukseensa ja magneetin sisään CERNissä. (Kuva CERN)

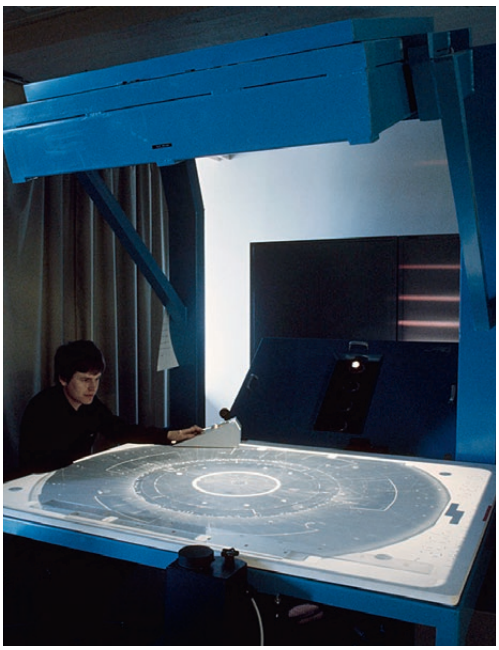
2.8. BEBC-kokeiden analyysi Helsingissä 1978–1984

Helsingin ja Tukholman kuplakammioryhmät päättivät lähteä mukaan BEBC-kammiolla tehtäviin kokeisiin. Osaaminen alalla oli hankittu, tutkimusryhmät koulutettu ja fysiikka oli loogista jatkoa tehdyille tutkimuksille. Helsinkiin ja Tukholmaan tilattiin BEBC-filmien tutkimista varten ranskalaisen SFAT-yhtiön rakentamat BESSY-projektoripöydät (BEBC European Scanning System). YFL:lle BESSY-pöytä asennettiin v. 1974 maaliskuussa. Tukholman ja Helsingin ryhmät olivat v. 1973 syksyllä tehneet alustavat koe-ehdotukset CERNille BEBC-kammiossa tehtävistä kokeista. Aluksi saatiin kuitenkin vain pieniä määrä filmejä testimittauksia varten.

Vuonna 1974 tehtiin Yhdysvalloissa MIT:ssa sekä Stanfordin tutkimuskeskuksessa käänteentekevä löytö, J/psi-hiukkanen. Molemmissa kokeissa havaittiin uusi resonanssihiukkanen, jonka massa on 3,1 GeV/c^2. Se tulkittiin oitis neljännen kvarkin ilmentymäksi (kvarkki-antikvarkki-tila). Kvarkkimalli oli tässä vaiheessa jo vahvoilla aineen perusrakenteen teorian muodostuksessa ja neljäs kvarkki tuli kuin taivaan lahjana – sitä tarvittiin aiempien tutkimustulosten ymmärtämiseksi. Tälle raskaalle kvarkille annettiin nimeksi lumokvarkki.



BEBC-kuplakammiokuva (Kuva CERN).



SEFLin BESSY-esitarkastelu- ja mittauspöytä v. 1975. (Kuva Helsingin yliopisto)

J/psi-hiukkasen löytö muutti merkittävästi myös BEBC:lle suunniteltua tutkimusohjelmaa. SPS:n energia riitti tuottamaan lumokvarkkeja sisältäviä hiukkasia ja niitä ryhdyttiin nyt etsimään. Lumohiukkaset ovat hyvin lyhytikäisiä, niiden lentomatka on liian lyhyt mitattavaksi hiukkasilmaisimissa ja niiden havaitseminen tapahtuu niitten hajoamisissa syntyvien hiukkasten avulla. Helpointa on etsiä hajoamisissa syntyviä leptoneita. BEBC:n taakse oli alun perin asennettu myoni-ilmaisinjärjestelmä havaitsemaan törmäyksissä syntyneitä myoneja. Elektronit voitiin havaita käyttämällä BEBC:n väliaineena nestemäistä vety-neon-seosta. Siinä elektronit jarruuntuivat lyhyellä matkalla, jolloin ne voitiin tunnistaa. Viimeisessä vaiheessa käytettiin menetelmää, jossa BEBC:n sisälle asennettiin akryylista rakennettu kammio (Track Sensitive Target, TST), joka täytettiin nestemäisellä vedyllä. Näin voitiin tutkia törmäyksiä protonien kanssa TST:n sisällä ja käyttää ympäröivää neon-tilavuutta elektronien tunnistamiseen. Ensimmäiset kokeet BEBC:llä tehtiin 200 GeV:n neutriinosuihkuilla, jotka oli tuotettu SPS:llä.

Helsinki ja Tukholma liittyivät mukaan ennestään tuttujen Brysselin ja Liverpoolin yliopistojen tutkimusryhmien tekemään koe-ehdotukseen, joka tähtäsi lumohiukkasten tuoton tutkimiseen BEBC-kammiolla. Kokeessa käytettiin 70 GeV:n K^+-suihkua. Ehdotus hyväksyttiin CERNissä v. 1977 koodinimellä WA31. Kokeeseen liittyi myös belgialainen Monsin yliopiston ryhmä professori Fernand Grardin johdolla. Kokeen puhemiehenä toimi Jacques Lemonne Brysselin yliopistosta. SEFListä kokeessa työskentelivät FM Veli-Matti Hagman, FM Pertti Keski-Kuha, yliassistentti Jorma Tuominiemi ja FM Kari Valtonen.

WA31-ajot tehtiin v. 1978 kesällä, kaikkiaan saatiin otettua 188 000 kuvaa. Kuvien laatu oli TST:n osalta ongelmallinen sen seinämissä esiintyneen loiskiehunnan vuoksi. Noin 70 000 kuvaa voitiin kuitenkin käyttää tutkimukseen. Lumohiukkasten etsintää koskeva tutkimus valmistui 1981. Yhtään lu-

mohiukkasten hajoamista ei löydetty, mutta niiden tuottovaikutusalalle saatiin mitatuksi yläraja. Kokeen toisena päätutkimuskohteena oli neutraalien outojen hadronien tuotto, josta tulokset saatiin valmiiksi syksyllä v. 1983. Tutkimusryhmä Serpuhovin laboratoriosta oli liittynyt mukaan kokeen tähän vaiheeseen. Sen vetäjänä toimi Dr. Pavel Chliapnikov, myös vanha yhteistyötuttu. Helsingissä FM Kari Valtonen ja FM Pertti Keski-Kuha tekivät kokeesta lisensiaattitutkimukset. CERNin käynnistettyä EHS-kokeet ja aloitettua LEP-hankkeen valmistelun mielenkiinto BEBC-kokeita kohtaan väheni. Sen sulkemisjuhlallisuudet pidettiin CERNissä 11.10.1984. SEFLin WA31-projektissa työskennelleet tutkijat siirtyivät muihin tehtäviin, mm. Veli-Matti Hagman Valtion tietokonekeskuksen palvelukseen.

2.9. European Hybrid Spectrometer 1982–1986

Ongelmana lumokvarkkien etsinnässä kuplakammiokokeilla oli, että niiden tuottovaikutusalat ovat hyvin pieniä verrattuna kevyempien kvarkkien tuottovaikutusaloihin. Lumohiukkasten havaitsemiseksi oli kuvattava runsaasti törmäyksiä. Suuret kuplakammiot olivat hitaita ilmaisimia, niiden toimintajakso oli tyypillisesti parin sadan millisekunnin luokkaa, mikä teki käytännössä vaikeaksi riittävän suurten törmäysmäärien tutkimisen järkevässä ajassa. Niinpä 70-luvun lopulla alettiin tutkia pienten, nopeasyklisten kuplakammioiden rakentamista. CERNissä ja Fermilabissa rakennettiin kammiot, joiden toimintajakso oli 30 Hz. CERNiin Rapid Cycling -kuplakammion (RCBC) rakensi Rutherford-laboratorio, sen magneetin Saclayn laboratorio, ja magneettisesta spektrometristä olivat vastuussa CERN ja hollantilaiset ja itävaltalaiset instituutit.

RCBC-kammio sijoitettiin elektronisista hiukkasilmaisimista rakennetun spektrometrin eteen. Kuplakammio toimi näin ”verteksi-ilmaisimena” eli sillä rekisteröitiin tarkasti törmäyspisteen paikka ja siitä lähtevien hiukkasten radat. Hiukkasten liikemäärä mitattiin suuren magneettisen spektrometrin avulla. Spektrometriin liitettiin myös Tserenkov-ilmaisimia, joiden avulla hiukkasia voitiin suoraan identifioida. Spektrometrin antama data tallennettiin elektronisesti ja kuplakammiokuvien mittausten tuottama tieto yhdistettiin siihen rekonstruktiovaiheessa. Laitteistolle annettiin nimi European Hybrid Spectrometer (EHS).

SEFL liittyi kahteen EHS-laitteistolla tehtyyn kokeeseen, jotka saivat CERNissä koodinimet NA22 ja NA23. Tätä varten perustetun tutkimusryhmän muodostivat FT Heimo Saarikko ryhmän johtajana, FM Elise Hannula, FM Rauno Lauhakangas, FM Jaakko Mäkelä ja FT Esa Riipinen. NA23-koe oli lähinnä testikoe, jolla testattiin EHS:n toimintaa. NA22-kokeessa käytettiin SPS:n avulla tuotettua 250 GeV/c:n positiivisen varauksen hadronisuihkua, jonka koostumus oli 14 % K- ja 30 % pi-mesoneja, 56 % protoneja.

Kuplakammion sisälle oli lisäksi asennettu kultakalvoja, joissa tapahtui 7 % törmäyksistä. Näillä kerättiin samalla tietoa hadronien vuorovaikutuksista ytimien kanssa, täydentämään hadroni-protoni-törmäyksistä saatua tietoa. Fysiikan päätavoitteiksi muodostui lopulta protonin kvarkkirakenteen selvittäminen sekä outojen kvarkkien fragmentaation mittaaminen. Kokeeseen osallistuivat Helsingin lisäksi Antwerpenin, Brysselin, Krakovan, Moskovan, Nijmegenin, Rio de Janeiron ja Tbilisin yliopistot sekä IHEP-Serpuhov. Kollaboraation puhemiehenä toimi professori Wolfram Kittel hollantilaisesta Nijmegenin yliopistosta.

Ensimmäinen ajo EHS-laitteistolla tehtiin v. 1982 kesä–heinäkuussa. Siinä kerättiin 35 000 halutun tyyppistä törmäystä, joista 6000 esitarkasteltiin ja mitattiin Helsingissä. Koetta jatkettiin v. 1983 elokuussa, jolloin saatiin 163 000 törmäystapausta. RCBC-kuvia otettiin kaikkiaan 570 000. Näistä noin 9000 kuvaa toimitettiin Helsinkiin. Mittaukset tehtiin Sweepnikillä ja osaksi ENETRAlla.

NA22-mittaukset saatiin suoritettua loppuun v. 1986 syksyllä. Kokeen analyysiä Helsingissä vaikeutti UNIVAC 1108:n sulkeminen kesällä 1985. UNIVACin poistuminen kuvioista merkitsi yhden aikakauden loppua suurenergiafysiikan tutkimuksessa Helsingissä. UNIVAC, joka oli tuolloin jo vanhanaikainen tietokone, oli täyttänyt kunniakkaasti pitkäaikaisen tehtävänsä. NA22-kokeen analyysi vietiin loppuun Åbo Akademin UNIVAC-koneella, Helsingin yliopiston Burroughs 6500 -koneella ja Opetusministeriön ja Fysiikan laskentakeskuksen VAX-tietokoneilla. Tutkimusryhmään oli liittynyt FM Torunn Saarikko sekä yo. Roy Pöllänen, joista jälkimmäinen teki kokeen fysiikan analyysistä pro gradu -tutkielman. Kokeen analyysi jatkui aina vuoteen 1989 asti.

NA22 oli viimeinen kuplakammiokoe, johon SEFL osallistui. Kun kaikki mittaukset oli saatu valmiiksi vuoden 1986 syksyllä, ENETRAn ja Sweepnikin pitkäaikainen toiminta-aika päättyi. Näin päättyi myös yksi aikakausi SEFLin kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimuksessa. Sweepnikin viralliset sulkemisjuhlallisuudet järjestettiin 19.12.1986. SEFL siirtyi kokonaan elektronisiin kokeisiin.

2.10. SEFLin johto vaihtuu 1979

Professori K.V. Laurikainen siirtyi eläkkeelle v. 1979 alussa toimittuaan YFL/SEFLin esimiehenä vuodesta 1960 lähtien. Hän ei ollut eläkkeelle jäädessään täysin tyytyväinen SEFLin tilanteeseen, vaan tunsi ettei ollut saavuttanut kokeellisen hiukkasfysiikan organisoinnissa kaikkea, mitä oli nähnyt tarpeelliseksi. SEFLin perushankintamäärärahat olivat 1970-luvun aikana tasaisesti laskeneet, eikä tilanteen korjaaminen resurssien kokoamisella SEFTiin ollut toteutunut. Laurikainen oli kuitenkin luonut perustan uudelle tieteenalalle: oli olemassa hyvin koulutettu, eturivin tutkimusta tekevä tutkijaryhmä, oli avattu rahoituslähteitä ja kansainvälisiä yhteistyösuhteita. Kuten Keijo Kajantie on kirjoittanut Laurikaisen muistokirjoituksessa 1997, ”… oli luotu pohja nykyiselle Fysiikan tutkimuslaitokselle”.

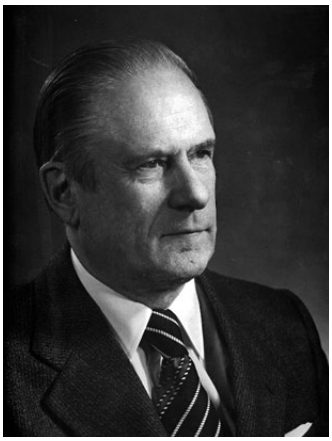
Laurikainen oli teoreetikko. Hän ei luonut mitään omaa koulukuntaa, mutta hän loi työskentelyn edellytykset kymmenille kokeellisille tutkijoille. Näin jälkeenpäin ajateltuna hän teki tässä mahtavan työn – hyvin paljolti yksin. Onneksi hänellä oli yliopiston johdossa myös tukijoita. Ehkä tärkein tukija oli Ernst Palmén, joka vararehtorina ja rehtorina (1971–78) rohkaisi ja auttoi Laurikaista eteenpäin.

Laurikainen ja Palmén

Osallistuin 1970-luvulla säännöllisesti Laurikaisen ja Palménin neuvotteluihin Laurikaisen virkahuoneessa Siltavuorenpenkereellä. Laurikaisella oli kirjahyllyssään erityinen mappi, jonka hän otti esille aina Palménin tullessa vierailulle. Mapissa oli pieni pullo Laurikaisen Dubnan matkoilta tuotua georgialaista brandya ja pari pientä lasia, joista herrat nauttivat maljat keskustelujen aikana. Neuvotteluja Laurikaisen hankkeista käytiin myös säännöllisesti Pörssiklubilla, joissa mukana oli Palménin lisäksi usein matemaattis-luonnontieteellisen osaston dekaani, professori Martti Tienari – Laurikaisen pitkäaikainen taistelupari.

Keijo Kajantie on kirjoittanut muistokirjoituksessa myös: ”Laurikainen rakasti taistelua, mutta hänen suhtautumisensa vastapuoleen oli tavattoman korrektia ja asiallista. Neuvotteluissa hän ei milloinkaan kiihtynyt, tilanteen kireyden saattoi korkeintaan huomata siitä, että pieni puna alkoi nousta kauluksen rajasta ylöspäin. Hän ei milloinkaan sättinyt ja nimitellyt toisia edes kahdenkeskisissä yksityiskeskusteluissa: häntä saatettiin kutsua ”bubble chamber monkeyksi”, tai suositella että ”Laurikaisen tulisi mennä sanatorioon”, mutta itse hän pysyi tiukasti asiassa. Laurikainen oli yksinkertaisesti vahva, hänen ei tarvinnut kerätä voimia vastustajan mustamaalauksesta. Jos asiat eivät tällä kerralla edenneet, niihin palattiin uudestaan. Ehkä tässä oli myös Nevanlinnan sivistynyttä henkeä, Rolf Nevanlinnan muistelmissahan ei ole kuin tasapainoisia ja jalomielisiä ihmisiä.”

K.V.Laurikaisen eläkkeelle jäämistilaisuus pidettiin 5.2.1979 Siltavuorenpenkereellä ja muotokuvan paljastus 26.9.1979. Jätettyään näin hallinnon ja hiukkasfysiikan Laurikainen syventyi tieteen ontologiaan, tieteenfilosofiaan ja tieteen ja uskonnon välisiin suhteisiin. Tämä oli Laurikaiselle lopulta sitä, mitä hän oli pohtinut nuorena ja mitä halusi tehdä sitä enem-



K.V. Laurikainen v. 1979 (Kuva Kuvasiskot).

män mitä pitemmälle aika kului. Muiden asian harrastajien kanssa hän perusti Luonnonfilosofian seuran, joka vaikuttaa edelleen. Hän oli erityisen kiinnostunut Wolfgang Paulin kirjeistä, jotka on talletettu CERNissä ”Paulin kokoelmaksi”. Jäätyään eläkkeelle Laurikainen halusi työskennellä niiden parissa. Tässä kohtaa syntyi hankauksia nuoremman sukupolven kanssa, koska heiltä ei Laurikaisen mielestä riittänyt ymmärrystä hänen kiinnostustensa kohteen tärkeydelle. Jouduttiin pikku kiistoihin matkarahoista ja Hiukkasfysiikan komitean tuesta. Hankaukset menivät niin pitkälle, että Laurikainen sai aiheen arvostella nuorta polvea kiittämättömyydestä. Näidenkin vaiheiden aikana hän säilytti asiallisuutensa, eivätkä välit nuoren polven kanssa menneet koskaan poikki. Hiukkasfysiikan kansainvälisiä suhteita koskevaan keskusteluun Laurikainen osallistui aktiivisesti vielä eläkkeellä ollessaan, eritoten mielipiteiden vaihdon CERNin liittymisestä velloessa lehtikirjoituksissa 1980-luvun lopussa. Hän kuoli v. 1997, Suomen jo oltua CERNin jäsen kuusi vuotta.

SEFLissä Laurikaisen viran lisäksi tuli täytettäväksi myös apulaisprofessorin virka, kun apul. professori Matts Roos oli nimitetty henkilökohtaiseen professuuriin v. 1977. Huolimatta rehtori Palménin neuvosta julistaa auki ensin professuuri ja vasta sitten apulaisprofessuuri, Laurikainen esitti ne haettavaksi yhdessä haussa nimikkeillä ”hiukkasfysiikan professuuri ja apulaisprofessuuri”. Palménin ajatuksena oli jakaa virat teoreetikoiden ja kokeilijoiden kesken. Laurikaisella oli kuitenkin omat suunnitelmansa asiasta.

Hakuun osallistui näkyvä joukko suomalaisia hiukkasteoreetikoita sekä kaksi kokeilijaa, dos. Veikko Karimäki ja yliassistentti Jorma Tuominiemi. Haku päättyi 1978 lopussa. Asiantuntijoiksi saatiin professori A. Donnachie Manchesterin yiopistosta, professori Wolfgang Kummer Wienin teknillisestä yliopistosta, professori Lev B. Okun Moskovan yliopistosta, professori Donald H. Perkins Oxfordin yliopistosta ja professori Frederic Zachariasen CALTECHistä. Asiantuntijalausunnot avattiin 8.3.1980. Kärkeen nousi tasaväkinen joukko ansioituneita teoreetikoita, kun taas kokeilijat Karimäki ja Tuominiemi yltivät parhaimmillaan 4.–5. sijalle. Lausuntojen perusteella Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellinen osasto asetti 27.3.1980 alkeishiukkasfysiikan professorin virkaan ehdolle ensisijaisesti dos. Paul Hoyerin, toisessa sijassa dos. Hannu I. Miettisen ja kolmannessa sijassa professori Dan-Olof Riskan. Riska veti myöhemmin hakemuksensa pois. Hakija Masud Chaichian katsottiin epäpäteväksi, koska hän ei ollut esittänyt todistusta virkaan vaadittavasta suomen kielen taidosta. Tasavallan presidentti nimitti Paul Hoyerin professorin virkaan 28.11.1980. Hoyer oli tuolloin stipendiaattina NORDITAssa Kööpenhaminassa ja otti viran vastaan vuotta

myöhemmin 23.9.1981. Laitoksen ainoana professorina hänestä tuli myös SEFLin esimies. Apulaisprofessorin virkaan osasto asetti ensimmäiselle sijalle Ph.D. Masud Chaichianin, toiselle sijalle Paul Hoyerin ja kolmannelle sijalle Hannu I. Miettisen. Tähän virkaan Chaichianin suomen kielen taito katsottiin riittäväksi ja hänet nimitettiin apulaisprofessoriksi v. 1980.

Näin alkoi SEFLin historiassa uusi vaihe. SEFLiä johti edelleen teoreettinen fyysikko, mutta Paul Hoyerin tutkimustyöllä oli läheisiä kosketuksia kokeelliseen hiukkasfysiikkaan ja hänellä oli jo pitkäaikaisia yhteyksiä suomalaisten kokeellisen hiukkasfysiikan tutkijoiden kanssa. Yhteistyö SEFLin kokeilijoitten kanssa sujui alusta alkaen hyvin. Hoyer joutui tuoreeltaan tekemään tärkeitä päätöksiä, jotka koskivat uusia kansainvälisiä yhteistyöprojekteja kokeellisessa hiukkasfysiikassa.

3. 1980-luku, uusi aikakausi kokeellisessa hiukkasfysiikassa: kokonaan elektroniset kokeet

3.1. JADE-koe DESY-laboratoriossa 1981–1985

Dos. Esko Pietarinen, joka toimi yliassistenttina Fysiikan laitoksella, osallistui 1981–85 DESY-laboratorion PETRA-törmäyttimellä käynnistetyn JADE-kokeen datanlukulaitteistoon tarvitun multiprosessorijärjestelmän kehittämiseen. Työ tapahtui yhdessä NIKHEF–Amsterdam-ryhmän kanssa, joka oli JADE-kokeen jäsen. Työhön tuli mukaan myös FT Petri Laurikainen SEFListä. Projektissa työskenteli lopulta lisäksi viisi opiskelijaa sekä FM Rauno Lauhakangas ja laboratorioinsinööri Tapio Vehviläinen SEFL:sta. Tässä yhteistyöprojektissa sovellettiin NIKHEF:ssä kehitettyä Fast Amsterdam MultiProsessor (FAMP) -järjestelmää. Prosessori otettiin käyttöön v. 1984 ja se levisi laajalti käyttöön hiukkasfysiikan kokeissa. SEFL ei liittynyt virallisesti JADE-kokeeseen, mutta tehty kehitystyö loi perusvalmiuksia SEFLin osallistumiselle UA1- ja DELPHI-koeasemien tiedonkeruujärjestelmien rakentamiseen. UA1-koetta käsitellään seuraavissa luvuissa ja DELPHI-koetta luvuissa 3.11.–3.13.

3.2. CERNin protoni-antiprotoni-törmäytin

Elektroni-protoni-kokeet ja neutriino-nukleoni-kokeet CERNissä ja Fermilabissa 1970-luvulla olivat osoittaneet, että GWS-teoria kuvasi hyvin tutkittuja ilmiöitä. Neutraalivirran reaktiot oli havaittu CERNissä jo 1973. Vuosikymmenen kuluessa saatujen mittaustulosten yhdistämisestä oli myös saatu arvioitua, että GWS-teorian ennustamien W- ja Z-bosonien massojen täytyi olla jonkin verran 100 GeV:n alapuolella. Näin raskaitten hiukkasten tuottaminen oli kuitenkin CERNin ja Fermilabin 300–500 GeV:n synkrotronien ulottumattomissa. Haaste välibosonien löytämisestä tietenkin vilkastutti suurten kiihdyttimien suunnittelua. Esimerkiksi Burton Richter Stanfordista tutki sapattivuotenaan 1975–76 CERNissä suuren syklisen elektroni-positroni-törmäyttimen rakentamista, jolla W- ja Z-bosonien tuottaminen olisi mahdollista. Yhdessä ruotsalaisen professori Guy von Dardelin kanssa hän julkaisi raportin 100–200 GeV:n elektroni-positroni-törmäyttimen suunnittelusta ja teki ECFAlle ehdotuksen sellaisen rakentamisesta USA–Eurooppa-yhteistyöprojektina. Samaan aikaan Carlo Rubbia kollegoineen kaavaili samanlaista törmäytintä. Suuri elektroni-positroni-törmäytin (Large Electron Positron Collider, LEP) otettiinkin yhdeksi vaihtoehtoisista projekteista CERNin suunnitelmissa 1970-luvun lopulla. Toinen, nopeammin toteutettavissa ollut suunnitelma etsiä W- ja Z -bosoneja päätettiin kuitenkin toteuttaa ennen LEP-projektia.

Carlo Rubbia oli tehnyt CERNissä ISR-kokeita 1970-luvun alussa ja perehtynyt hadronitörmäyttimen toimintaan. Kun CERN ja Fermilab rakensivat 300–500 GeV:n protonisynkrotronejaan, Rubbia ryhtyi kehittelemään ajatusta, että niissä kiihdytettäisiin protoneja ja antiprotoneja samassa suihkuputkessa, vastakkaisiin suuntiin. Antihiukkaset ja hiukkaset ovat muuten identtisiä, paitsi että niillä on vastakkainen sähkövaraus. Siten niiden liikeyhtälöt sähkömagneettisessa kentässä ovat samat, kun nopeuden suunta on vastakkainen. Näin niitä voidaan ohjata samassa kiihdyttimen tyhjiöputkessa samoilla taivutus- ja ohjausmagneeteilla. Protoni- ja antiprotonisuihkut voidaan sitten ohjata törmäämään sopivissa kohdissa synkrotronia. Rubbia oivalsi, että SPS:n suihkujen energia oli törmäysmoodissa riittävä tuottamaan 100 GeV:n massaisia hiukkasia. GWS-teorian mukaan W- ja Z-bosoneita voi syntyä protoni-antiprotoni-törmäyttimessä protonien sisältämien valenssi-kvarkkien ja antiprotonien valenssi-antikvarkkien vuorovaikutuksen tuloksena. Tuolloin tiedettiin jo protoni-sirontakokeiden tulosten perusteella, että valenssikvarkkien liikemäärä on keskimäärin 1/6 protonin kokonaisliikemäärästä. Siten kvarkkien törmäysenergia SPS-törmäyttimessä olisi keskimäärin 100 GeV, riittävä W- ja Z-bosonien tuottamiseen.

Elektroneja ja positroneja oli törmäytetty samanaikaisesti synkrotronissa jo 1960-luvulta lähtien, ensimmäisenä AdA-kiihdyttimessä Orsayn laboratoriossa 1963. Myös Gersh Budker ryhmineen oli rakentanut Novosibirskin Ydinfysiikan instituutissa (NPI) 1960-luvulla useita pieniä elektroni-positronitörmäyttimiä. Budker ja Aleksandr Skrinski kehittelivät Novosibirskissä 1960-luvun lopulla myös protoni-antiprotoni-törmäyttimiä. Budker kävi CERNissä esitelmöimässä töistä v. 1967. Antiprotoni-protonitörmäyttimen rakentamisessa oli kuitenkin edessä suuri haaste. Kiihdyttimissä aikaansaatujen hiukkassuihkujen tiheys on vain normaalin kaasun tiheyden luokkaa. Siksi kiihdyttimen tyhjiön on oltava riittävän hyvä, jotta suihkuhiukkasten ja residuaalikaasun atomien väliset törmäykset ovat selvästi harvinaisempia kuin halutut hiukkastörmäykset. Toinen ongelma oli, että törmäytinkokeissa tutkimuksen kohteena olivat harvinaiset reaktiot. GWS-teorian ennustamat vaikutusalat W- ja Z-hiukkasten tuotolle protoni-antiprotoni-törmäyksissä olivat pieniä. Tarvittiin suuri määrä törmäyksiä, jotta metsästettäviä hiukkasia saataisiin tuotettua tilastollisesti merkittävä määrä. Laskelmien mukaan tarvittiin antiprotonisuihkuja, joissa olisi $6x10^{11}$ antiprotonia, kymmeniä tuhansia kertoja enemmän kuin jo rakennetuissa antiprotonisuihkuissa. Antiprotonisuihkujen tuottaminen on merkittävästi hankalampaa kuin positronisuihkujen aikaansaaminen, koska antiprotonien massa on 2000 kertaa suurempi. Summa summarum, riittävän energian saavuttamisen lisäksi tarvittiin vielä uusi edistysaskel välibosonien löytämiseksi. Oli pystyttävä tuottamaan riittävän intensiivisiä antiprotonisuihkuja.

Rubbia oli tutustunut hiukkasuihkujen ”jäähdyttämiseen” eli niiden hiukkastiheyden kasvattamiseen tähdättyihin menetelmiin ISR:llä CERNissä,

Hiukkastörmäyttimen parametrit

Energian lisäksi hiukkastörmäyttimen suorituskykyä kuvaava oleellinen parametri on suihkujen intensiteetti, joka määrää, millä taajuudella reaktioita voidaan törmäyksissä tuottaa. Tämä ilmaistaan tavallisesti suureella luminositeetti, joka määritellään kaavalla

$$R = \mathcal{L}\sigma$$

Kaavassa R on aikayksikössä syntyneiden reaktioiden määrä, σ reaktion tuottovaikutusala (cm^2) ja $\mathcal{L}$ luminositeetti. Luminositeetin yksikkö on siis $cm^{-2}s^{-1}$. SPS-törmäyttimellä saavutettiin lopulta luminositeetti 10^{30} $cm^{-2}s^{-1}$. Tätä voidaan verrata nykyisen LHC-törmäyttimen luminositeettiin, joka on luokkaa 10^{34} $cm^{-2}s^{-1}$. Kokeen kuluessa kerätyn data-aineiston kokoa kuvataan myös ns. integroidulla luminositeetilla, joka on aikaintegraali $\mathcal{L}$:n yli. Tällöin käytetään usein yksikköä barn (b) = 10^{-24} cm^2.

jossa Simon van der Meer niitä kehitteli 1970-luvun alussa. Hän oli tutustunut myös G. Budkerin töihin Novosibirskissä. Budker käytti töissään ”elektronijäähdytystä”, jossa antiprotonisuihkun hiukkasten liikemäärän hajontaa pienennettiin Coulombin vuorovaikutuksella sen kanssa kulkevan ”kylmemmän” elektronisuihkun avulla. Elektronisuihkujen liikemäärän hajontaa on helpompi supistaa synkrotronisäteilyn avulla. Van der Meerin menetelmä, ns. stokastinen jäähdytys, käytti puolestaan informaatiota pulssimaisen antiprotonisuihkun hiukkaskimppujen sisäisen liikemäärän hajonnasta, jota saatiin suihkuputken ulkopuolisilla ilmaisimilla. Liikemääräjakautuman mitatun keskiarvon perusteella laskettu korjaussignaali lähetettiin kiihdytinrenkaan poikki korjauselektrodeihin ennen kimpun sinne saapumista. Tätä toistamalla antiprotonisuihkupulssien liikemäärän hajonta vähitellen pieneni ja suihkujen tiheys kasvoi. Rubbian van der Meerin töihin perustuvien laskelmien mukaan oli mahdollista saavuttaa riittävä intensiteetti välibosonien löytämiseksi.

Rubbia, joka toimi CERNin senior staff -paikkansa ohella vv. 1970–89 Higgins-professorina Harvardin yliopistossa Yhdysvalloissa, teki v. 1976 yhdessä Peter MacIntyren (Harvardin yliopisto) ja David Clinen (Wisconsinin yliopisto) kanssa ehdotuksen Fermilabin suuren protonisynkrotronien muuttamisesta protoni-antiprotoni-törmäyttimeksi. Tämä oli periaatteessa mahdollista ilman suuria muutoksia ja rakennustöitä, tarvittiin vain erillinen varastointirengas suihkujen ”jäähdytyslaitteineen” intensiivisten antiprotonisuihkujen synnyttämistä ja ”varastoimista” varten. Fermilab ei kuitenkaan ollut valmis toteuttamaan ehdotusta. Laboratorion johto arvioi, että sen 500 GeV:n protonisynkrotroni ei ollut teknisesti valmis protoni-antiprotoni-törmäyttimeksi. Ensimmäinen probleema oli kiihdyttimen suihkuputken tyhjiö, joka arvioitiin liian huonoksi törmäysmoodille, suihkujen elinikä törmäyttimessä olisi ollut liian lyhyt. Tarvittavien parannuksien tutkiminen jatkui v. 1978 syksyyn, jolloin Fermilab lopulta päätti luopua hankkeesta ja keskittyi suuremman, suprajohteisiin magneetteihin perustuvan synkrotronin (Energy Doubler) rakentamiseen samaan tunneliin 500 GeV:n synkrotronin kanssa. Törmäytinmoodissa toimiminen sisällytettiin tähän suunnitelmaan. Uudessa

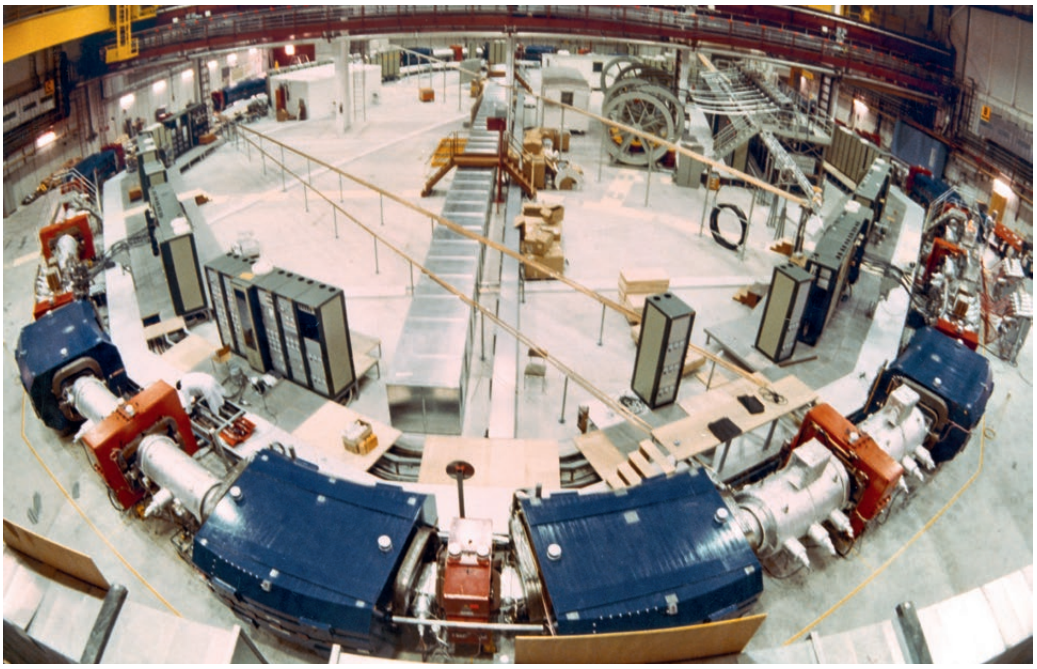
kiihdyttimessä suihkujen energiat olisivat 1 TeV. Tämä Tevatron-törmäytin valmistui vuonna 1983.

CERNissä pääjohtajakaksikko Léon Van Hove ja John Adams oli heti kiinnostunut Rubbian ja kumppanien ehdotuksesta. CERNissä tiedettiin, että SPS oli teknisesti valmis intensiivisten antiprotoni-suihkujen kiihdyttämiseen ja varastoimiseen ilman suuria muutoksia. Esimerkiksi kiihdyttimen tyhjiö oli kaksi kertalukua parempi kuin Fermilabin synktrotronin. Rubbia kirjoitti raportin CERNin SPS-kiihdyttimen käytöstä protoni-antiprotoni-törmäyttimenä vuoden 1977 alussa. Van Hove ajoi voimakkaasti hanketta, vaikka se kohtasi vastustusta usealta taholta. Taktiikkana oli pitää hanke osana CERNin vahvistettua tutkimusohjelmaa ja sen budjettia. Näin CERNin johto torjui hankkeen vertailua kokonaan uusien kiihdytinlaitteistojen rakentamiseen, joista taitettiin peistä vilkkaasti. Rubbian esityksessä antiprotoni-suihkujen intensiteettiä kasvatettiin sekä stokastisella jäähdytysmenetelmällä että elektronijäähdytyksellä. CERN päätti testata menetelmiä käytöstä poistetulla, 1960-luvulla rakennetulla myonien varastointirenkaalla. Tässä ICE-projektissa (Initial Cooling Experiment) saatiin v. 1978 keväällä vahvistus sille, että jäähdytys toimi laskelmien mukaan ja riittävä intensiteetti voitaisiin saavuttaa. Päätös SPS:n muuntamisesta protoni-antiprotoni-törmäyttimeksi voitiin tehdä. Antiproton Accumulator -varastointirenkaan (AA) rakentaminen – suunnittelu oli jo tehty – aloitettiin heti, ja se valmistui v. 1980. Loppujen lopuksi elektronijäähdytyksestä luovuttiin kokonaan stokastisen jäähdytyksen osoittauduttua yksin riittäväksi. Ensimmäiset protoni-antiprotoni-törmäykset SPS:ssa saatiin aikaan ja havaittiin UA1-koeasemalla v. 1981 heinäkuun 10. päivänä. Törmäysenergia oli aluksi 270 + 270 GeV, sillä törmäysmoodissa SPS toimi varastointirenkaana, jolloin magneettien piti kestää tasavirta varastoinnin ajan.

Tieto törmäyksistä Lissabonin konferenssiin

Europan Fyysikkoseuran v. 1981 kansainvälinen konferenssi hiukkasfysiikassa järjestettiin Lissabonissa 9.–15.7.1981. Konferenssin johtajana toimi professori J. Dias de Deus Lissabonin yliopistosta. Hän on teoreetikko, jolla oli yhteyksiä myös suomalaisiin tutkijoihin. Helsingistä konferenssiin osallistuivat dos. Hannu I. Miettinen, dos. Vesa Ruuskanen ja dos. Jorma Tuominiemi. Uutinen SPS-törmäyttimen käynnistymisestä toimitettiin välittömästi tiedoksi konferenssiin. Uutinen sai tietenkin suuren huomion ja törmäyttimellä tehtävä fysiikka oli yhtenä tärkeänä aiheena esitelmissä.

Portugalilaiset fyysikot olivat rakentaneet konferenssin yhteyteen suurelle yleisölle tarkoitetun fysiikan näyttelyn. Lisäksi CERN oli tuonut paikalle liikkuvan näyttelynsä hiukkasfysiikasta. Meidän suomalaisten mielestä näyttely oli erinomaisesti laadittu. Hannu Miettinen oli vaikutettu ja sai oitis idean järjestää jotain vastaavaa Suomessa. Näin sai alkunsa ”Fysiikka 82”-näyttelyn suunnittelu Helsinkiin.



CERNin Antiproton Accumulator (AA). AA on varastointirengas, johon PS-kiihdyttimellä tuotetut antiprotonit syötetään ja varastoidaan kiertämään sen tyhjiöputkessa. Varastoinnin aikana antiprotonipulssit "jäähdytetään" eli tiivistetään fokusointimagneettien avulla hyvin ohuiksi hiukkasrihmoiksi ennen syöttämistä SPS-kiihdyttimeen. Kuvassa näkyvät AA-renkaan poikki kulkevat signaaliputket, joita pitkin korjaussignaalit lähetetään fokusointimagneettien korjauskeloihin, jotka muokkaavat suihkun pulsseja. (Kuva CERN)

3.3. Underground Area -kokeet CERNin SPS-törmäyttimellä 1981–1984

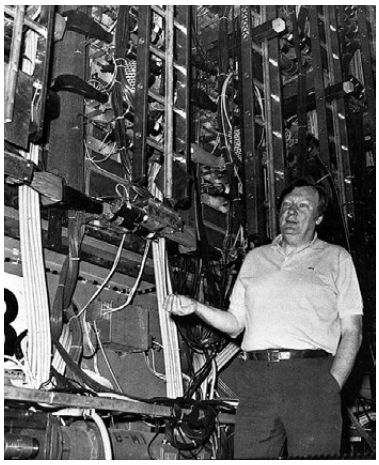
Välibosonien havaitsemiseen tarvittiin nopeat koelaitteistot, joilla voitiin havaita riittävän paljon harvinaisia törmäystapahtumia, jollaisia välibosonien tuotto on. Sopiva ilmaisinteknologia oli olemassa. Tarvittiin vain hyppäys eteenpäin laitteistojen koossa, sillä törmäyksissä syntyvien hiukkasten energiat olivat kertalukua suurempia kuin aikaisemmissa kokeissa. Oli myös selvää, että tarvittiin täyden avaruuskulman ilmaisin, joka kuplakammion tavoin rekisteröisi kaikkien W:n ja Z:n hajoamisessa syntyvien sähkövarauksellisten hiukkasten radat. Tässä vaiheessa oli George Charpakin verrannollisuuslaskureista kehittämien monilankakammioiden rakentelu CERNissä edennyt niin pitkälle, että pystyttiin konstruoimaan suuria ajauttamislankakammioita. Niillä voitiin saada kahdessa dimensiossa lähes samanlainen informaatio kuin kuplakammioilla, mutta ne olivat paljon nopeampia (kymmentuhatkertainen nopeus, törmäyssyklin ollessa 10 mikrosekuntia). Informaatio radoista saatiin

Ajauttamiskammio

Ajauttamiskammio on verrannollisuuslaskurista kehitetyn monilankaverrannollisuuskammion (MWPC) versio, jolla mitataan sähkövarauksellisten hiukkasten ratoja. Laite koostuu kaasutäytteisestä metallikotelosta (”kammiosta”), johon on pingoitettu yhdensuuntaisina n. 0,05 mm paksuisia metallilankoja (anodilankoja). Langat ovat positiivisessa 10kV jännitteessä. Kammion läpi kulkevat sähkövarauksselliset hiukkaset ionisoivat kaasun atomeita. Syntyneet elektronit lähtevät sähkökentän vaikutuksesta kulkemaan anodilankoja kohti ja indusoivat varauspulssin lähimmälle langalle. Näin saadaan mitattua hiukkasen radan koordinaatit yhdessä tasossa langan koordinaatista ja ajasta, jonka elektronit ovat kulkeneet (ajautuneet) anodilangalle. Kolmas koordinaatti saadaan anodilangan päistä luettujen varauspulssien suuruuksien suhteesta. Ensimmäiset monilankaverrannollisuuskammiot rakensi puolalais-ranskalainen fyysikko George Charpak CERNissä 1960-luvun lopussa. Hän sai töistään Nobelin fysiikan palkinnon v. 1992.

ajauttamiskammion langoista varauspulsseina, jotka voitiin syöttää suoraan digitaalisessa muodossa tiedonkeruulaitteistoihin ja tietokoneelle.

Rubbia oli ryhtynyt tällaisen koelaitteiston, ”koeaseman”, suunnitteluun jo v. 1976, heti CERNin johdon päätettyä lähteä testaamaan suihkujen jäähdytystekniikoita ICE-projektilla. Muistan hyvin, kuinka tutkin uteliaana vuonna 1976 CERNin kirjastoon ilmestynyttä Rubbian toimittamaa uutta raporttisarjaa ”Proton-antiproton notes”. Rubbia sai mukaan koeaseman suunnitteluun joukon projektin merkityksestä vakuuttuneita kokeneita fyysikoita. Yhteistyöryhmittymään kuuluivat Aachenin teknillinen yliopisto, Annecyn hiukkasfysiikan laboratorio (LAPP), Birminghamin yliopisto, CERN, Queen Mary College (Lontoo), Collège de France (Pariisi), Riversiden (USA) ja Rooman yliopistot, Rutherford Appleton Laboratory (Chilton, Englanti), Saclayn kiihdytinlaboratorio sekä Wienin ja Wisconsinin yliopistot. Ryhmittymä jätti CERNille v.1978 alussa koe-ehdotuksen ”A 4π Solid Angle Detector for the SPS used as a Proton-Antiproton Collider at a Center of Mass Energy of 540 GeV”. CERNin Research Board (komitea, jossa CERNin johtoryhmän lisäksi jäseninä ovat kaikkien osastojen päälliköt) hyväksyi ehdotuksen kokouksessaan 29. kesäkuuta 1978. Tässä tehtiin samalla hiukkasfysiikan tutkimuksen historiaa. Ehdotuksen allekirjoittajina oli 52 fyysikkoa ja insinööriä – enemmän kun koskaan ennen. Näin laajan yhteistyöryhmän kokoaminen oli myös vaativa sosiaalinen suoritus. Koe sai koodinimen Underground Area 1, UA1. Hanke oli kunnianhimoinen, se oli ”multipurpose”-koe, jonka tavoitteena oli välibosonien etsimisen lisäksi muun muassa hadroniryöppyjen olemassaolon varmistaminen sekä raskaampien kvarkkien etsintä.



Carlo Rubbia UA1-koeasemalla 1981. (Kuva CERN).

Kuten fysiikan tutkimuksessa on välttämätöntä, mittaustulosten ristiin tarkistusta varten tarvittiin toinen koe. Samuel C.C. Ting MIT:sta sekä Pierre Darriulat CERNistä toimittivat koe-ehdotukset CERNin SPS-komitealle sitä varten. Tingin koe-ehdotukseen olivat liittyneet Tingin oma instituutti MIT, NIKHEF (Amsterdam), CERN, LAPP (Annecy), University College of London, Helsingin yliopiston SEFL sekä Niels Bohr Instituutti (Kööpenhamina), Darriulat'n johtaman tutkimusyhteistyöryhmään kuuluivat Bernin, Kööpenhaminan ja Pavian yliopistot, CERN, sekä Orsayn ja Saclayn kiihdytinlaboratoriot.

SPS-komitea teki valintansa joulukuun 13. päivänä 1978. Toiseksi kokeeksi hyväksyttiin Darriulat'n yhteistyöryhmän ehdotus. Kokeen koodinimeksi tuli UA2. Valinta perustui seuraavaan argumentointiin. Kun Rubbian ja kumppanien ehdottamaa laitteistoa pidettiin fyysikoitten keskuudessa yleisesti monimutkaisena ja uuden teknologian vuoksi haastavana, haluttiin toiseksi kokeeksi pelkistetympi, lähinnä välibosonien löytämiseen keskittyvä hanke. Tingin ehdotus katsottiin liian haasteelliseksi hankkeeksi UA1:n rinnalle.

SPS-törmäytinhankkeen ja UA-kokeiden hyväksyminen CERNin Research Boardissa ei ollut mutkatonta ja se herätti paljon keskustelua hiukkasfyysikoitten keskuudessa. Hanke tuntui monista liian epävarmalta, liian suurelta ja liian kalliilta. Hiukkasfyysikoitten yhteisö ei ollut lainkaan yksimielinen hankkeesta. Epäiltiin myös, voitaisiinko elektronisilla ilmaisimilla saada selvää törmäystapahtumissa syntyvien lukuisten hiukkasten ratojen ”sotkusta”. Ei ollut täyttä varmuutta edes siitä, paljonko uusia hiukkasia protoni-antiprotoni-törmäyksessä uudella energia-alueella syntyi. Myös pääjohtaja Van Hove kuului näiden UA1- ja UA2-hankkeiden epäilijöiden joukkoon. Hänen tuellaan päätettiin hyväksyä mukaan vielä koe, jossa hiukkasten radat saatiin näkyviin soihtukammiolla, jossa ne rekisteröitiin valokuvaamalla. Koe sai koodinimen UA5. Tähän kokeeseen osallistuivat Bonnin, Brysselin, Cambridgen ja Tukholman yliopistot sekä CERN. Koe oli toiminnassa v. 1981 lyhyen aikaa SPS-törmäyttimellä paikassa, johon UA2 asennettiin v. 1981 lopulla. UA5:n avulla saatiin sopivasti käsitys siitä, mikä törmäyksissä syntyneiden hiukkasten keskimääräinen lukumäärä oli ja etteivät niiden radat muodostaneet sen suurempaa sotkua.

Jälkikäteen voidaan todeta, että osa fyysikoista ei yksinkertaisesti ymmärtänyt, miten merkittävää fysiikkaa oltiin tekemässä. Päätös SPS:n muuntamisesta törmäyttimeksi vaati visiota ja toisaalta tutkittua tietoa siitä, että hanke oli teknisesti mahdollinen. Ehkä CERNin johto oli valmis ottamaan mallia amerikkalaisista, jotka parin vuosikymmenen ajan olivat dominoineet hiukkasfysiikan kokeellista tutkimusta improvisoimalla rohkeasti. Näin he olivat saaneet useita tuloksia, jotka jättivät CERNin varjoon, vaikka CERNissä tehtiin aivan yhtä pätevää tutkimusta.

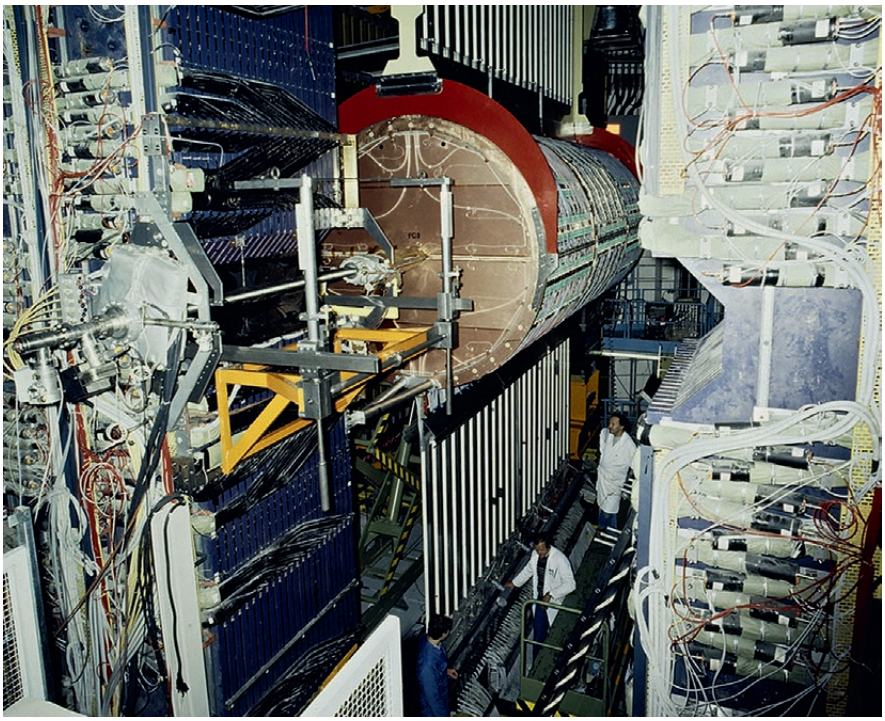
UA1-laitteisto oli ensimmäinen suuri ”elektroninen” täyden avaruuskulman kattava, ”hermeettinen” koeasema. Sen perusrakenne on ollut sen jälkeen

mallina kaikille hiukkaskokeille, niin myös LHC-kokeille. Suihkujen törmäyspistettä ympäröi suuri sylinterimäinen ilmaisin, jonka avulla sen akselilla sijaitsevasta törmäyspisteestä sinkoutuvien hiukkasten radat voitiin mitata. Se oli ilmaisinteknologian huippua, suuri ajauttamiskammio (halkaisija oli 2,8 m ja pituus 5,8 m), jossa oli 6125 lankaa lankatasoina hiukkasten radan mittaamiseen. Kammion ympärillä oli sylinterimäinen lyijy-muovituikeaine-hiukkaskalorimetri elektronien ja fotonien identifioimiseksi ja niiden energian mittaamiseksi. Näitä ilmaisinkerroksia ympäröi 0,7 Teslan dipolimagneetti, jonka magneettikentässä törmäyksessä syntyneiden sähkövarauksellisten hiukkasten radat kaareutuivat, mistä saatiin mitattua niiden sähkövaraus ja liikemäärä. Magneettia ympäröi hadronien energian mittaamista varten rauta-tuikeilmaisin-kalorimetri ja uloimpana myonien radan mittaamiseen tarkoitettu verrannollisuuskammiotasoista koostuva ilmaisinjärjestelmä. Koko komeuden mitat olivat 10x6x6 m^3 ja paino 2000 tonnia. SPS:n suora sektori (LSS5), johon koeasema sijoitettiin, on 20 metrin syvyydessä maan pinnalta.

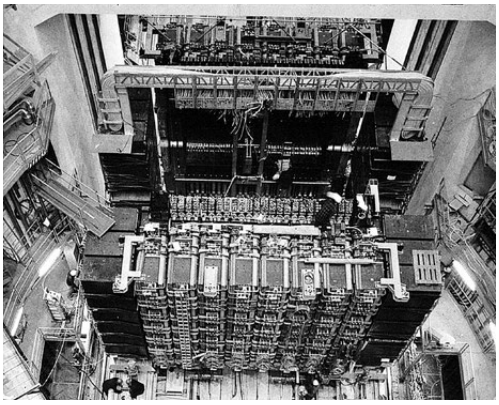
Liipaisujärjestelmän rakenne ja liipaisuehtojen valinta on tehtävä huolella, jotta haluttuja törmäystapahtumia ei menetetä. Tämä on yksi kriittinen osa hadronitörmäytinkokeiden suunnittelua. Kuten edellä jo todettiin, suunnittelussa käytetään hyväksi teorian tarjoamia ennusteita mielenkiintoisten törmäysten topologioista. Laitteiston kalibrointia varten tallennetaan kokeen kuluessa jatkuvasti myös ns. minimum bias-liipaisulla valittuja reaktioita.

Hadronitörmäyttimen datanluvun liipaisujärjestelmä

Oma haasteensa koeaseman suunnittelussa oli sen datankeruulaitteiston rakentaminen. Kun tähtäimenä oli 60 000 protoni-antiprotoni-törmäystä sekunnissa, tarvittiin nopeaa elektroniikkaa, jotta kaikki törmäykset voitaisiin periaatteessa rekisteröidä. SPS-törmäyttimellä protonipulssien (protoneista muodostuvien ”rihmanpätkien”) törmäysten väli oli tyypillisesti kuusi mikrosekuntia. Kun törmäyksestä kerätyn datan lukemiseen tarvittiin kymmeniä millisekunteja, kaikista törmäystapahtumista ei tiedon tallentaminen ollut mahdollista. Nyt kuitenkin törmäyttimellä haluttiin tutkia vain hyvin harvinaisia reaktioita, kuten välibosonin tuottoa. GWS-teorian ennusteiden mukaan tällaisten tapahtumien todennäköisyys (vaikutusala) oli vain yksi 10^8 protoni-antiprotoni-törmäyksestä. Tarvittiin paljon törmäyksiä ja liipaisujärjestelmä (triggering system), jolla kaikista törmäyksistä voitiin törmäyksien välisenä aikana valita rekisteröitäväksi vain ne, joilla oli haluttu topologia. Tyypillinen signaali oli mm. suuren poikittaisen liikemäärän myoni tai elektroni, jollainen välibosonien hajoamisessa syntyi. Valinta voitiin tehdä nopeasti niin, että koeaseman ilmaisimien antamista signaaleista luettiin aluksi nopeitten elektronisten piirien avulla vain alueellista informaatiota, esimerkiksi juuri myoni-ilmaisimien antama karkea tieto hiukkasten liikemäärästä tai sähkömagneettisen kalorimetrin johonkin elementtiin absorboitunut energia. Kun nämä olivat suurempia kuin asetetut alarajat, elektroniikkajärjestelmä ”liipaisi” datan luvun tuolle törmäykselle. Liipaisu voitiin tehdä riittävän nopeasti langoitettujen elektronisten piirien avulla. Kun tiedon luku oli liipaistu, estyi uusien törmäysten liipaisu datan luvun ajaksi. Toisen harvinaisen tapahtuman todennäköisyys heti perään seuraavissa törmäyksissä oli kuitenkin hyvin epätodennäköistä. Tilannetta voitiin myös parantaa lisäämällä elektroniikkaan puskurimuistia.



UA1-kokeen keskuskammio. Sen akselilla näkyy SPS:n suihkuputki. (Kuva CERN)



UA1-koelaitteisto avattuna LSS5:llä. Keskellä näkyy sähkömagneettinen kalorimetri (musta sylinteri) sekä sivuun vedettynä dipolimagneetin ja hadronikalorimetrin puolikkaat. (Kuva CERN)

Niissä liipaisuelektroniikka varmistaa vain, että kyseessä on suihkuhiukkasten törmäys eikä esimerkiksi suihkuhiukkasen ja suihkuputkessa ole-van residuaalisen kaasun atomin välinen törmäys.

UA1-koeasema oli valtava verrattuna muihin tuon aikaisiin kokeisiin. Osa hiukkasfyysikoista suhtautui sen suorituskykyyn epäilevästi ja piti tavoitteeltaan kapeammin fokusoitua ja yksinkertaisempaa UA2-laitteistoa varmempana hankkeena. Nykysilmin nähtynä UA1-koeasema oli pieni, ”kaunis”, kohtuullisin kustannuksin rakennettu, ja se toimi juuri niin kuin se oli suunniteltu toimivaksi. Ja se valmistui ajallaan. Ensimmäiset mittaukset tehtiin v. 1981 syksyllä. Tällöin keskusratailmaisimen datanlukuelektroniikka ei vielä ollut täysin valmis ja myoni-ilmaisinta vasta rakennettiin. Toisaalta SPS:n suihkujen intensiteettikään, SPS:n luminositeetti ei vielä ollut riittävän suuri W-hiukkasten havaitsemiseen.

3.4. Suomalaisen tutkimusryhmän liittyminen UA1-kokeeseen 1979

SEFL Järjesti Helsingissä 4.–6.9.1978 antiprotoni-protoni -fysiikan seminaarin, jonka pääaiheena olivat kuplakammiokokeet, joissa SEFL oli mukana. Sisällytimme ohjelmaan myös tulevat törmäytinkokeet CERNissä ja FNAL:ssa ja kutsuimme Carlo Rubbian puhumaan aiheesta. Seminaarin aikana käydyissä keskusteluissamme Rubbia heitti meille kysymyksen, olisimmeko kiinnostuneita tulemaan mukaan UA1-kokeeseen. ”Päättäkää nopeasti, monttua koetta varten on jo alettu kaivaa CERNissä.” Asia jäi roikkumaan ilmaan, sillä tutkimussuunnan radikaali muutos tuntui meistä uhkarohkealta, kun olimme vielä vastuullisena ja täystyöllistettyinä useassa kuplakammiokokeessa. Olin kyllä keskustellut paljon SPS-törmäytinkokeiden merkityksestä aineen perusrakenteen tutkimuksessa muun muassa teoriakollegani Keijo Kajantien kanssa, joka piti mukaan menoa järkevänä.

Lokakuussa 1978 professori Samuel C.C. Ting (MIT) otti yllättäen minuun puhelimitse yhteyttä ja kutsui minut DESY-laboratorioon Hampuriin neuvotteluihin uudesta UA-koe-ehdotuksesta SPS-törmäyttimelle. Hän piti kiirettä, sillä CERN oli valitsemassa toista koetta UA1-kokeen pariksi ja päätökset oli tarkoitus tehdä vuoden loppuun mennessä. Tingin hankkeessa SEFL olisi mukana koe-ehdotuksesta alkaen – niinpä päätimme katsoa mistä oli kysymys. Matkustin viikonlopuksi Hampuriin tutustumaan koe-ehdotuksen ensimmäiseen versioon. Koeasema, jota Ting esitteli, oli pelkistetympi kuin UA1, mutta noudatti hyvin samaa rakennetta. Sen keskuskammiona oli myös suuri ajauttamislankakammio, jonka suunnittelu perustui paljolti DESY-laboratorion PETRA elektroni-positroni-törmäyttimellä käynnistyneen, Tingin johtaman Mark-J-kokeen keskuskammioon. Koe-ehdotus oli selkeä, simulointitutkimukset näyttivät mahdollisen signaalin olevan hyvin erotettavissa. Ting oli kiinnostunut SEFLin ryhmän osallistumisesta keskusdetektorin data-analyysiin. Meidän liittymisellemme ei asetettu ehtoja, ei vaadittu rakennuskustannuksia eikä muita resursseja. Tämä sopi tilanteeseemme paremmin kuin hyvin, ja päätimme lähteä mukaan. Ting tarjosi SEFL:lle samalla välitöntä osallistumista Mark-J-kokeeseen ilman taloudellisia sitoumuksia. Ajatuksena oli, että SEFL voisi aloittaa keskuskammion datan analyysin tässä kokeessa: ”yksi tai kaksi tutkijaa DESY-laboratoriossa pari kuukautta opissa, analyysi Helsingissä.”

Neuvotteluissa oli mukana muitakin pohjoismaalaisten ryhmien johtajia, professori Egil Lillethun Bergenin yliopistosta ja professori Jørn Dines Hansen Niels Bohr -instituutista Kööpenhaminasta. Heistä Dines Hansen liittyi mukaan. SEFL:sta ehdotuksen allekirjoittajiksi nimettiin dos. Veikko Karimäki, FL Risto Orava, FT Esa Riipinen ja dos. Jorma Tuominiemi. Tämä oli alustava seniorifyysikoista koostuva nimilista. Lopulta mukaan päättivät lähteä lisäkseni Karimäki, FL Ritva Kinnunen, FL Martti Pimiä ja FT Petri

Laurikainen. Martti Pimiä ja Ritva Kinnunen olivat nuorempia fyysikoita, jotka olivat ansainneet kannuksensa 70-luvun kuplakammiokokeissa.

Sekä Tingin ehdotus että UA1 olivat ensimmäiset konseptit elektronisista kokeista, joiden keskusilmaisin antoi lähes yhtä täydellistä tietoa törmäyspisteestä sinkoutuvien hiukkasten radoista kuin kuplakammiot. Tämä oli aivan uutta elektronisten kokeiden suunnittelijoille. Ting ja Rubbia olivat oivaltaneet, että oli tärkeätä saada mukaan fyysikoita, joilla oli kokemusta ja mainetta kuplakammiokuvien analysoinnissa. Tingille meitä oli suositellut CERNin fyysikko Dr. Wanna Cocconi, joka oli tutustunut helsinkiläisiin tutkijoihin D.R.O. Morrisonin ryhmässä CERNissä.

Kun Tingin ehdotus joulukuussa 1978 oli hävinnyt Darriulat'n konseptille, tapasin Rubbian tammikuussa 1979 CERNissä ja kerroin meidän olleen mukana toteuttamatta jääneessä Tingin ehdotuksessa, mutta olimme nyt kiinnostuneita UA1-kokeeseen liittymisestä. Tarjosin SEFLin ryhmää mukaan UA1:n ratailmaisimen datan analyysiin. Olimme rohkaistuneet Tingin yhteydenotosta ja päätimme tarttua härkää sarvista. Rubbia reagoi heti positiivisesti ja kehotti lähettämään oitis ehdotuksen osallistumisestamme UA1-kollaboraatiolle. "Kerää ryhmä ja tee esitys liittymisestä mukaan".

Kirjeessä UA1-kollaboraatiolle 28.2.1979 tarjosimme samaa kontribuutiota kuin Tingin ehdotukseen. Tämä kiinnosti UA1-kollaboraatiota ja aloitimme CERNissä neuvottelut osallistumisemme yksityiskohdista mm. CERNin UA1-ryhmän jäsenien Dr. Rudi Böckin ja Dr. Denis Linglinin kanssa. Osoittautui, että Rubbian tuki oli tärkeää, sillä UA1-kollaboraatiossa esiintyi jähmeyttä ottaa uusia instituutteja enää mukaan projektin myöhäisessä vaiheessa. Koeasema oli jo rakenteilla ja vastuut jaettu. Tärkeimpänä vasta-argumenttina esitettiin, ettei meillä ollut tarjota laitteistokontribuutiota ja resursseja koeaseman rakentamiseen. Rubbia kuitenkin hoputteli neuvotteluja ja lopulta niissä edettiin niin, että ryhmämme osallistuisi kokeen "ensimmäiseen vaiheeseen" CERNin UA1-ryhmän jäseninä, kunnes voisimme koota lisää resursseja Suomessa. Tehtäväksemme määriteltiin UA1:n keskuslankakammion datan analysoinnissa tarvittavien hahmontunnistus- ja hiukkasratojen rekonstruointi-algoritmien ja -ohjelmistojen kehittäminen – juuri se, mitä olimme tarjonneet.

CERNin PH-osaston johtaja professori Erwin Gabathuler ja CERNin tutkimusjohtaja professori Volker Sörgel ottivat mukaantuloomme heti myönteisen kannan. Oli pidettävä kiirettä, sillä UA1-kollaboraatio painotti, että ainakin yhden SEFLin ryhmän jäsenen pitäisi aloittaa työ CERNissä pikimmiten. Tämä oli pulma, sillä SEFL:lla ei ollut budjetissa tähän riittäviä resursseja. Tässä Gabathuler tuli apuun. Käytännössä päädyttiin siihen, että CERNin PH-osasto hoiti Karimäen työskentelyn CERNissä loppuvuoden 1979 ja rahoitus v. 1980 tuli Suomesta. Karimäki siirtyi CERNiin heinäkuun alussa 1979. UA1 oli neuvotteluissa ehdottanut myös, että toinen SEFLin tutkija työskentelisi CERNissä v. 1980 alusta. Lähestyin asiassa Hiukkasfysiikan

komiteaa sekä Suomen Akatemian tutkimusjohtajaa Elisabeth Helanderia ja esitin tilanteen heille. Helanderin vaikutuksella Hiukkaskomitean budjettia 1980 kasvatettiin niin, että Martti Pimiälle voitiin myöntää stipendi CERNissä työskentelyä varten vuodeksi 1980. Pimiä siirtyi MIS-kokeesta UA1-kokeeseen ja Milanosta Geneveen v. 1980 alusta. Kun tutkimusjohtaja Helander järjesti vielä SEFLin ryhmälle Suomen Akatemian stipendin 4 kuukauden CERNissä työskentelyä varten 1979 aikana, oli alku UA1-projektissa rahoitettu ja kokeeseen liittymisen ehdot täytetty.

Gabathuler tukee

CERNissä huhtikuun alussa 1979 pitämässämme palaverissa EP-osaston johtaja professori Gabathuler myönsi puolet Veikko Karimäen CERNissä työskentelyn kustannuksista vuoden ajalle PH-osaston budjetista. "Look, I'll put down half of it and expect that you find the other half in Finland…" Hiukkasfysiikan komitea vastasi Gabathulerin haasteeseen myöntämällä Veikko Karimäelle Scientific Associate stipendin 1.1.–30.8.1980.

Rubbian tuella sain puolestani CERNin Scientific Associate -stipendin ajalle 1.7.1980–30.12. 1981 UA1:ssä työskentelyä varten. Ritva Kinnunen liittyi UA1-kokeeseen tohtoriopiskelijaksi v. 1980 puolivälissä ja sai tätä varten Hiukkasfysiikan komitean stipendin vuodelle 1981. Rubbia suostui hänen väitöskirjatyönsä ohjaajaksi. Näin meillä oli koossa neljän henkilön porukka UA1-kokeessa CERNin ryhmän jäsenenä. Suuremman ryhmän kokoaminen UA1-hankkeeseen ei onnistunut, sillä potentiaalisista kandidaateista mm. Petri Laurikainen ja Risto Orava olivat tuolloin Fermilabissa stipendiaatteina ja Heimo Saarikko tutkijana Bonnin yliopistossa, eivätkä he katsoneet voivansa lähteä mukaan.

UA1-kollaboraation vaatimuksena oli, että jäseninstituuttien oli osallistuttava myös laitteiston rakentamiseen, mihin Helsingillä ei heti ollut resursseja. Tehdyn sopimuksen mukaan SEFLin ryhmän jäsenet olivat aluksi osa CERNin UA1-ryhmää. Jo vuoden 1981 alussa asenteet UA1-kollaboraatiossa olivat kuitenkin muuttuneet ja aika alkoi olla kypsä SEFLin hyväksymiseksi jäseninstituutiksi. Ryhmämme oli tehnyt vaikutuksen kontribuutiollaan. Ratailmaisimen hahmontunnistusalgoritmit ja hiukkasten ratojen geometriseen rekonstruointiin tarvittavat ohjelmistot olivat suurelta osin Martti Pimiän ja Veikko Karimäen kehittämiä. Työ tapahtui kiinteässä yhteistyössä muiden UA1-kokeen software-spesialistien kanssa. Näistä merkittävimmät olivat UA1:n software-koordinaattori Dr. Alan Norton (CERN) ja Dr. Martin Corden (RAL). Osallistumista datankeruulaitteiston rakentamiseen suomalaisin voimin aloitettiin, kun dos. Esko Pietarinen, joka oli hankkinut kokemusta JADE-projektissa, liittyi mukaan. UA1:n johtoryhmä (Executive committee) hyväksyi 3.3. 1982 SEFLin UA1:n 12. jäseninstituutiksi. Päätökselle saatiin heti muodollinen tuki CERNin SPS-komitealta. Näin olimme UA1-kollaboraation jäseninstituutti juuri ennen W-hiukkasten etsinnän käynnistymistä syksyllä 1982, kun SPS-törmäyttimen luminositeetti oli saatu viritettyä riittävän suureksi metsästystä varten. Minut kutsuttiin UA1:n johtoryhmän

UA1-kokeen organisointi

UA1-kokeen käynnistyessä siinä työskenteli n. 150 fyysikkoa ja insinööriä. UA1-kollaboraatio oli paljon suurempi kuin kuplakammiokokeita tehneet tutkijaryhmät. Sille oli luotava muodollisempi hallinto. Päättäväksi elimeksi muodostettiin osallistujalaboratorioiden johtajista koostuva johtoryhmä (Executive Committee). Kokeen toimeenpaneviksi johtajiksi nimitettiin puhehenkilö (spokesperson, SP) ja varapuhehenkilö sekä teknillinen koordinaattori. Puhemiehenä toimi v. 1989 asti Carlo Rubbia. Ensimmäisinä varapuhemiehinä toimivat prof. Alan Astbury (RAL) ja Antoine Levéque (Saclay), ja teknillisenä johtajana Dr. Hans Falk Hoffmann (DESY). SEFL:n edustajana UA1-johtoryhmässä toimi dos. J. Tuominiemi 1981–1989.

jäseneksi. Suunnitelmana oli, että SEFL ottaisi vastuulleen yksin tai yhdessä joidenkin muitten laboratorioiden kanssa tutkimusaiheen, jonka analyysiä se tekisi Helsingissä. Hankkeen henkilö- ja tietokoneresurssit piti hankkia Suomesta.

Laiterakennuksen rahoitus Suomesta alkoi järjestyä, kun vuoden 1982 alussa Suomen Akatemia päätti liittää Hiukkasfysiikan komitean v. 1983 budjettiin erillisen määrärahan koelaitteiden rakentamiseen CERNissä ja Helsingissä. Määräraha saatiin jälleen Suomen Akatemian tutkimusjohtajan, Elisabeth Helanderin aloitteesta ja tuella. Määrärahoja varattiin UA1-koeaseman rakentamiseen CERNissä 130 000 mk ja laiterakentamiseen Helsingissä 230 000 mk. Suomessa tehty laiterakentaminen kohdistui UA1:n ohjaus- ja tiedonlukujärjestelmiin. Esko Pietarinen ryhtyi suunnittelemaan ja rakentamaan uusinta teknologiaa olevia prosessoriyksiköitä UA1:n tiedonkeruulaitteistoon.

3.5. Välibosonien löytyminen 1982–1983

UA1-kokeen valmistelussa tapahtui ikävä takaisku v. 1982 keväällä, kun keskusratailmaisimen paineilmahuuhtelussa sen sisään pääsi pölyistä ilmaa. Seurasi pitkä ja työläs, pari kuukautta kestänyt signaalilankojen (6600 lankaa) puhdistusoperaatio. Mielenkiintoista oli, että CERNin johto päätti, ettei UA2 aloittaisi kokeita ennen kuin UA1:n puhdistusoperaatio oli tehty, mikä merkitsi kevääksi 1982 suunnitellun törmäytinajon peruuttamista. Sittemmin LHC-kokeissa ei tämänkaltainen päätös varmaan olisi tullut kuuloonkaan. Toisaalta SPS:n suihkujen intensiteetti ei keväällä 1982 ollut vielä riittävän suuri W:n löytämiseen kevään aikana, joten isoa vahinkoa onnettomuudesta ei W:n metsästykselle koitunut. SPS-törmäyttimen luminositeetti saatiin nostettua syksyksi 1982 kymmenkertaiseksi v. 1981 kevääseen verrattuna.

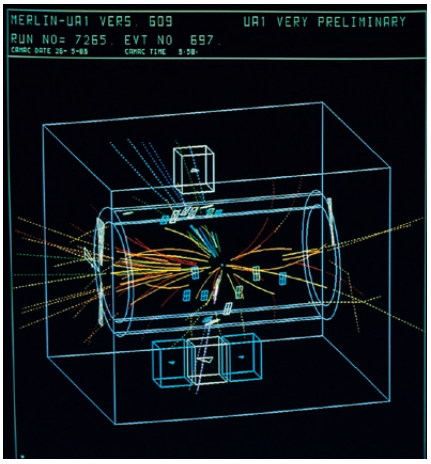
Vuonna 1981 kerätyn datan analyysi tuotti SPS-projektille hyvän alkumenestyksen. Pariisissa v. 1982 kesällä pidetyssä Hiukkasfysiikan kansainvälisessä konferenssissa UA2 ja UA1 raportoivat hadroniryöppyjen havaitsemisesta. Nämä olivat jo tunnettuja elektroni-positroni -törmäyksistä, mutta nyt niiden syntyminen oli vahvistettu myös hadronitörmäyksissä. Näin kvarkkimalli sai lisää kokeellista pohjaa.

UA1-kokeen valvomossa vierailulla Geneven pysyvän edustuston lähetystöneuvos Björn Ekblom. (vas) (Kuva J. Tuominiemi)

Historiallinen vaihe projektissa alkoi lokakuussa 1982, kun SPS-törmäytin ja UA-kokeet olivat täysin toimintavalmiina. Alku oli hidasta – kuten on tavallista suurten kiihdytinkokeiden käynnistämisessä. SPS:n luminositeettia viritettiin vähitellen ylöspäin ja se saavutti odotetun luminositeetin 10^{28} $cm^{-2}s^{-1}$ lokakuussa. Teoreettisten laskujen mukaan kourallinen W-hajoamisia elektroniin ja neutriinoon piti olla löydettävissä jouluun mennessä. Koelaitteistoja viritettiin ja kalibroitiin datalla, jännitys oli korkealla. Koska odotettavissa olevien W-hiukkasten määrä oli pieni, oli tärkeää, että dataa kerättiin, milloin suinkin SPS sai antiprotoneja. Antiprotonipulssien syöttäminen AA:sta SPS:ään oli teknisesti vaativaa, kesti pitkään ja epäonnistumisia sattui usein. Siksi uuden antiprotoniannoksen ampuminen SPS-kiihdyttimeen oli aina juhlava tapahtuma, johon oli sopivasti sävelletty dramatiikkaa NASAn avaruusrakettien lähettämistä matkivilla ”count down”-kuulutuksilla. Rubbia vieraili aluksi usein UA1:n ohjaussalissa ja vahti ihmisten olan yli heidän tekemisiään. Pian huomattiin, että hänen läsnäolollaan ei ollut kovin positiivista vaikutusta ja Rubbia pyrittiin pitämään poissa toiminnan tuoksinasta.

Vähitellen kaikki alkoi sujua yhä paremmin. Ensimmäinen selkeä W-”kandidaattitapahtuma” löytyi lokakuun lopulla. Analyysi tehtiin ”on-express-line” – eli ajon kuluessa. Liipaistut, topologialtaan mielenkiintoisiksi tunnistetut törmäystapahtumat poimittiin heti rekonstruoitavaksi ja lopuksi vielä silmämääräisesti tutkittavaksi MEGATEK-monitorilla. ”Kandidaattitapauksia” alkoi löytyä. Jouluksi niitä oli kertynyt kuusi. Niissä oli ensinnäkin yksittäinen suurenerginen elektroni kuten W:n hajoamisessa. Jos kyseessä oli todella W:n hajoaminen, tarvittiin lisäksi havainto elektronin

Kuva UA1-kokeen kahdesta MEGATEK-asemasta. Kuvassa Dr. Jean-Pierre Vialle (LAPP, Annecy), joka oli MEGATEK- vastuuhenkilö. (Kuva CERN)



Kuva MEGATEK-laitteen näytöltä. Kuvatussa törmäyksessä on syntynyt kaksi hadroniryöppyä, jotka näkyvät sivusuuntaan menevinä rataviuhkoina ja kalorimetrien näkeminä signaaleina (kuutiot). (Kuva CERN)

UA1-kokeen ”ajaminen”

Kun protoni ja antiprotoniannokset oli ammuttu SPS-törmäyttimeen, koetta ajettiin 24 tuntia vuorokaudessa, jolloin valvomossa oli täysi miehitys. Kunkin alidetektorin toimintaa seurasi tietokonenäytöiltä pari detektorin eksperttiä. Tapana oli ja on edelleen, että valvontavuoroja, ”shiftejä”, tehdään kahdeksan tunnin vuoroissa. Helsingin ryhmästä Karimäki ja Pimiä osallistuivat lisäksi keskuskammion toiminnan valvontaan, Tuominiemi ja Kinnunen datakeruulaitteiston valvontaan ja datan kirjoittamiseen magneettinauhoille. Jos oltiin Helsingissä, matkustettiin säännöllisesti CERNiin shiftejä tekemään.

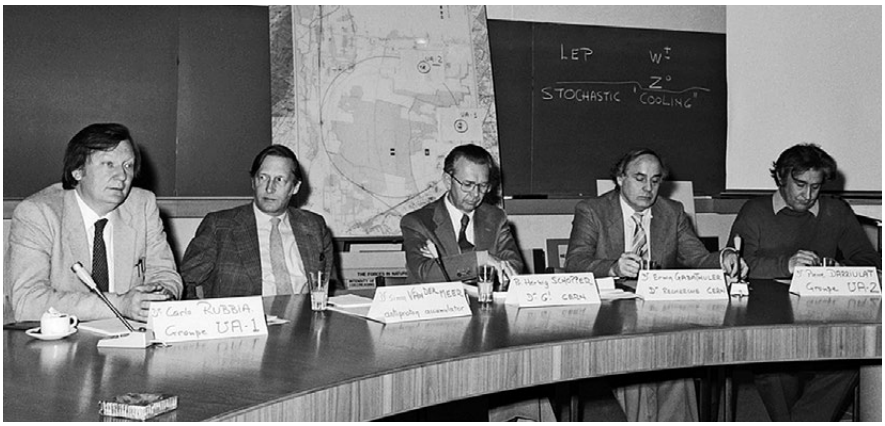
Tärkeä koetulosten analyysiin liittyvä aktiviteetti oli W-tuotolta näyttävien törmäystapahtumien visuaalinen tarkastelu. Tätä varten käytössä oli MEGATEK-asema, jonka CRT-värinäytölle rekonstruoidut törmäykset projisioitiin. Näytölle projisioitiin myös rekonstruktiossa laskettuja suureita, kuten hiukkasten energioita, liikemääriä ja puuttuvat liike-energiat. Törmäystapauksia voitiin pyörittää näytöllä niin, että niiden topologiaa voitiin tarkastella kolmiulotteisesti. Tarkastettavaksi oli otettu vain tapahtumat, joista datankeruun liipaisuinformaatio kertoi niiden olevan ”mielenkiintoisia”, eli topologialtaan etsittävien ilmiöiden näköisiä. Tämä oli kokeen analyysin ”express-line”, jossa pyrittiin nopeasti keräämään miljardien protoni-antiprotoni-törmäysten joukosta ”kandidaattitapahtumat” eli tapahtumat, joissa näytti olevan esimerkiksi W-bosonin hajoaminen. Tuolloin pientietokoneiden teho oli vielä vaatimatonta, joten MEGATEKilla kuvan käsittely tehtiin ”hardwired”-prosessoreilla. Ekspress-linjalla tehtiin myös vuorotyötä, lukuun ottamatta yöshiftiä. MEGATEK-tarkastelu oli suuren kiinnostuksen kohteena ja vierailijoita kävi usein ”häiritsemässä”.

ohella syntyneestä neutriinosta. Koska neutriinot eivät ehdi vuorovaikuttaa koeaseman ilmaisimissa, koelaitteisto mittaa kalorimetrien avulla sen lentosuuntaan ”puuttuvaa” energiaa. Tämä mittaus oli vaikeampi tehdä, sillä oli vakuututtava, ettei puuttuva energia johtunut instrumentaalisista syistä, esimerkiksi kalorimetrien avaruuskulmakatteen puutteista. Kun syksyn ajo päättyi joulukuun 6. päivänä talviseisokin ajaksi, koossa oli tiedot usean miljardin protonin ja antiprotonin törmäyksestä, joten asetettuun tavoitteeseen, (integroitu luminositeetti 26 nb^{-1}) oli päästy. Joulun viettoon siirryttäessä kandidaattitapahtumien puuttuvan energian analyysi oli vielä lopputarkastuksessa.

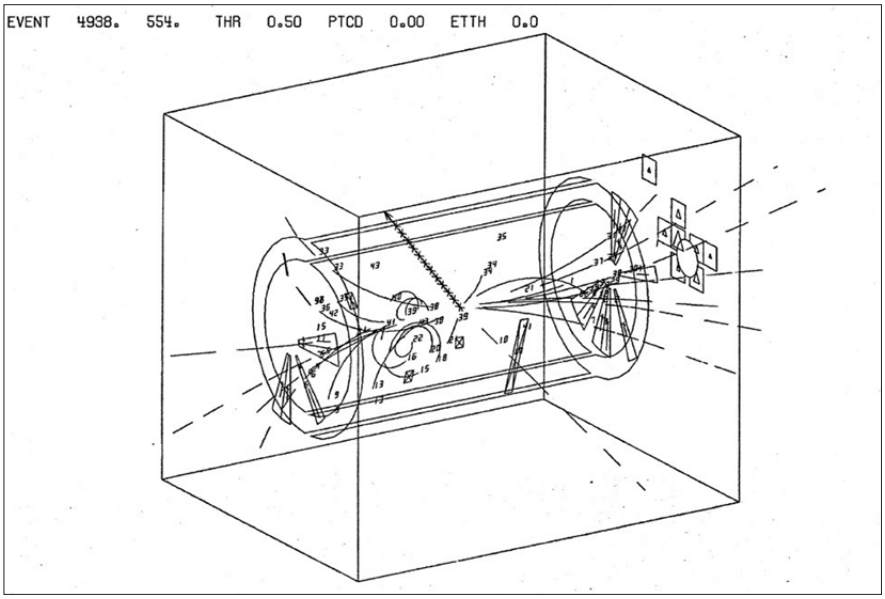
Tammikuun 12.–14.1983 järjestettiin Rooman La Sapienza-yliopistolla protoni-antiprotoni-fysiikan seminaari, jossa syksyn UA-kokeiden tuloksia käytiin läpi. UA1- ja UA2-tutkijaryhmät koettivat vakoilla toisiltaan, mitä toisella oli oikeasti tarjottavanaan. Tunnelma oli jännittynyt mutta korkealla. Oltiinhan suuren löydön äärellä. Kumpikaan ryhmä ei vielä ollut valmis esittämään lopullisia tuloksia, sillä osa tarkistusanalyyseista oli vielä kesken. Kokouksessa keskusteltiin analyysin tärkeistä yksityiskohdista ja otettiin oppia toisen kokeen kokemuksista. Rooman kokousta seuranneen viikon aikana UA1 sai puuttuvan energian mittausten luotettavuuden lopullisesti varmistettua. Tässä vaiheessa oli selvää, että millään kandidaattitapauksella ei ollut vaihtoehtoista tulkintaa, ”taustaa” signaalille ei ollut. UA1:ssä alettiin jo laatia lehdistötiedotetta, ja Rubbialle varattiin seminaariaika CERNissä torstaiksi 20.1.1983. Seminaaripäivänä CERNin suuri luentosali pullisteli kuulijoiden paljoudesta jo hyvissä ajoin ennen seminaarin alkua. Rubbian esitys kesti kaksi tuntia, mutta yleisö seurasi sitä herkeämättä. Rubbia päätti esityksensä sanoihin: ”Nämä näyttävät tuplaveeltä, niiden väri ja haju ovat tuplaveen, niiden täytyy olla tuplavee”. Aplodit kestivät pitkään.

Seuraavana päivänä Luigi di Lella CERNistä piti seminaarin UA2:n tuloksista. Ne tukivat UA1:n analyysin tuloksia. Tarkkaan ottaen kummatkin puhujat olivat vielä varovaisia, eivätkä suoraan väittäneet, että W oli löytynyt. Tyydyttiin esittämään, että jos kyseessä oli W, sen massa oli yhtäpitävä GWS-teorian kanssa. Seminaareja seuranneena viikonloppuna Rubbia kokosi CERNissä paikalla olleet UA1-kollegansa ja viimeisteli heidän kanssaan tuloksista tieteellisen raportin. Julkaisun otsikosta käytiin keskustelua ja lopulta päädyttiin tieteellisesti varovaiseen ”Observation of a single electron of high transverse momentum in events with missing transverse energy at the CERN ppbar collider”. Maanantaina raportti toimitettiin UA1-kollaboraation kommentoitavaksi niin laajasti kuin tuolla aikataululla oli mahdollista. Julkaisun käsittelymenettely ja -aikataulu oli tietysti epäortodoksi ja herätti kollaboraatiossa lukuisia vastalauseita, mutta tilannekin oli poikkeuksellinen. Raportilla oli 125 allekirjoittajaa.

Tiistaina 25.1.1983 lopullinen versio toimitettiin Physics Letters B -lehden tieteelliselle toimittajalle professori Klaus Winterille. Häntä oli jo varoitettu etukäteen. Nyt oli CERNin johtokin vakuuttunut. Saman tien tiistaina 25.1.1983



Tiedotustilaisuus CERNissä W:n löytymisestä 25.1.1983. Kuvassa vasemmalta Carlo Rubbia, Simon van der Meer, CERNin pääjohtaja Herwig Schopper, CERNin Fysiikan osaston päällikkö Erwin Gabathuler ja UA2:n puhemies Pierre Darriulat. (Kuva CERN)



Kuva UA1-kokeessa rekonstruoidusta protonirihmojen törmäyksestä, jossa on syntynyt W-bosoni, joka on hajonnut elektroniin ja neutriinoon. Keskuskammion akselia vastaan kohtisuorassa suunnassa on mitattu elektronin rata. Sen lävistämä suorakaidesymboli kuvaa sähkömagneettisen kalorimetrin energiamittausta. Vastakkaisessa suunnassa on mitattu puuttuvaa energiaa saman verran kuin elektronilla johtuen neutriinosta, jota ei havaita ilmaisimissa. Kuvaan on otettu mukaan vain ne hiukkaset, joitten poikittainen liikemäärä on suurempi kuin 2 GeV/c. Etusuuntaan lentävät hiukkaset tulevat suihkun protonien ”pehmeistä” törmäyksistä. (Kuva CERN)

CERN
SERVICE D'INFORMATION
SCIENTIFIQUE

Volume 122B, number 1 PHYSICS LETTERS 24 February 1983

EXPERIMENTAL OBSERVATION OF ISOLATED LARGE TRANSVERSE ENERGY ELECTRONS WITH ASSOCIATED MISSING ENERGY AT $\sqrt{s}$ = 540 GeV

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland

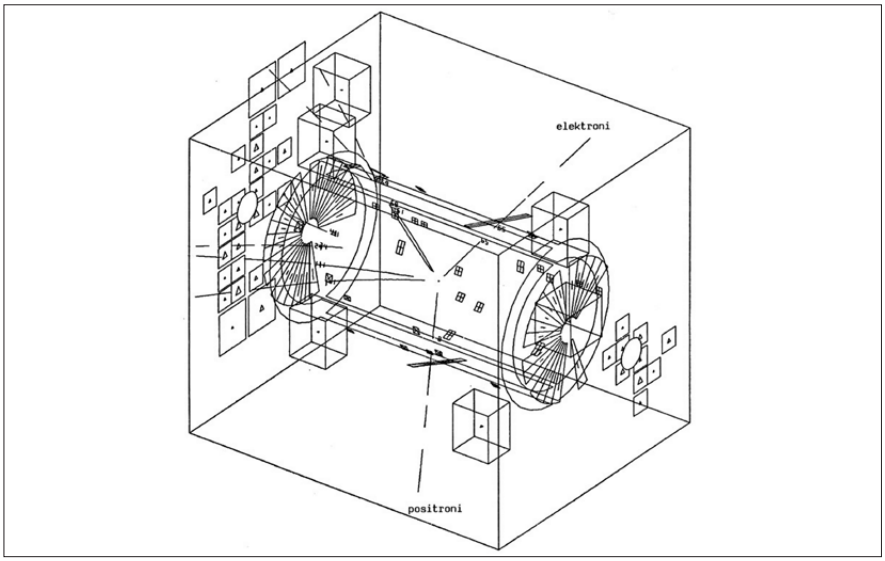
G. ARNISON [j], A. ASTBURY [j], B. AUBERT [b], C. BACCI [i], G. BAUER [1], A. BÉZAGUET [d], R. BÖCK [d], T.J.V. BOWCOCK [f], M. CALVETTI [d], T. CARROLL [d], P. CATZ [b], P. CENNINI [d], S. CENTRO [d], F. CERADINI [d], S. CITTOLIN [d], D. CLINE [1], C. COCHET [k], J. COLAS [b], M. CORDEN [c], D. DALLMAN [d], M. DeBEER [k], M. DELLA NEGRA [b], M. DEMOULIN [d], D. DENEGRI [k], A. Di CIACCIO [i], D. DiBITONTO [d], L. DOBRZYNSKI [g], J.D. DOWELL [c], M. EDWARDS [c], K. EGGERT [a], E. EISENHANDLER [f], N. ELLIS [d], P. ERHARD [a], H. FAISSNER [a], G. FONTAINE [g], R. FREY [h], R. FRÜHWIRTH [l], J. GARVEY [c], S. GEER [g], C. GHESQUIÈRE [g], P. GHEZ [b], K.L. GIBONI [a], W.R. GIBSON [f], Y. GIRAUD-HÉRAUD [g], A. GIVERNAUD [k], A. GONIDEC [b], G. GRAYER [j], P. GUTIERREZ [h], T. HANSL-KOZANECKA [a], W.J. HAYNES [j], L.O. HERTZBERGER [2], C. HODGES [h], D. HOFFMANN [a], H. HOFFMANN [d], D.J. HOLTHUIZEN [2], R.J. HOMER [c], A. HONMA [f], W. JANK [d], G. JORAT [d], P.I.P. KALMUS [f], V. KARIMÄKI [e], R. KEELER [f], I. KENYON [c], A. KERNAN [h], R. KINNUNEN [e], H. KOWALSKI [d], W. KOZANECKI [h], D. KRYN [d], F. LACAVA [d], J.-P. LAUGIER [k], J.-P. LEES [b], H. LEHMANN [a], K. LEUCHS [a], A. LÉVÊQUE [k], D. LINGLIN [b], E. LOCCI [k], M. LORET [k], J.-J. MALOSSE [k], T. MARKIEWICZ [d], G. MAURIN [d], T. McMAHON [c], J.-P. MENDIBURU [g], M.-N. MINARD [b], M. MORICCA [i], H. MUIRHEAD [d], F. MULLER [d], A.K. NANDI [j], L. NAUMANN [d], A. NORTON [d], A. ORKIN-LECOURTOIS [g], L. PAOLUZI [i], G. PETRUCCI [d], G. PIANO MORTARI [i], M. PIMIÄ [e], A. PLACCI [d], E. RADERMACHER [a], J. RANSDELL [h], H. REITHLER [a], J.-P. REVOL [d], J. RICH [k], M. RIJSSENBEEK [d], C. ROBERTS [j], J. ROHLF [d], P. ROSSI [d], C. RUBBIA [d], B. SADOULET [d], G. SAJOT [g], G. SALVI [f], G. SALVINI [i], J. SASS [k], J. SAUDRAIX [k], A. SAVOY-NAVARRO [k], D. SCHINZEL [f], W. SCOTT [j], T.P. SHAH [j], M. SPIRO [k], J. STRAUSS [l], K. SUMOROK [c], F. SZONCSO [l], D. SMITH [h], C. TAO [d], G. THOMPSON [f], J. TIMMER [d], E. TSCHESLOG [a], J. TUOMINIEMI [e], S. Van der MEER [d], J.-P. VIALLE [d], J. VRANA [g], V. VUILLEMIN [d], H.D. WAHL [l], P. WATKINS [c], J. WILSON [c], Y.G. XIE [d], M. YVERT [b] and E. ZURFLUH [d]

Aachen [a]–Annecy (LAPP) [b]–Birmingham [c]–CERN [d]–Helsinki [e]–Queen Mary College, London [f]–Paris (Coll. de France) [g]–Riverside [h]–Rome [i]–Rutherford Appleton Lab. [j]–Saclay (CEN) [k]–Vienna [l] Collaboration

Received 23 January 1983

We report the results of two searches made on data recorded at the CERN SPS Proton–Antiproton Collider: one for isolated large-E_T electrons, the other for large-E_T neutrinos using the technique of missing transverse energy. Both searches converge to the same events, which have the signature of a two-body decay of a particle of mass ~80 GeV/c^2. The topology as well as the number of events fits well the hypothesis that they are produced by the process $\bar{p} + p \rightarrow W^{\pm} + X$, with $W^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu$; where $W^{\pm}$ is the Intermediate Vector Boson postulated by the unified theory of weak and electromagnetic interactions.

[1] University of Wisconsin, Madison, WI, USA.
[2] NIKHEF, Amsterdam, The Netherlands.



Rekonstruktio törmäyksestä, jossa on syntynyt Z-bosoni, joka on hajonnut elektroniksi ja positroniksi. Näiden jäljet on rekonstruoitu ratailmaisimella (yhtenäiset viivat) ja energiat mitattu sähkömagneettisella kalorimetrilla (suorakaideneliöt). (Kuva CERN)

pääjohtaja Schopper järjesti tiedotustilaisuuden W:n löytymisestä. UA2 oli vielä epäröinyt, kun heidän tuloksensa ei ollut yhtä vakuuttava kuin UA1:n, mutta nyt hekin näyttivät vihreää valoa. Vaikka W-hajoamisia oli löydetty UA1-kokeessa vain kuusi, niistä voitiin jo mitata W:n massa. Massa voitiin laskea olettamalla, että hiukkanen hajoaa V-A-mekanismilla. Tulokseksi saatiin 81 ± 5 GeV/c^2, joka sopi erinomaisen hyvin yhteen GWS-teorian ennusteen, 82.1 ± 2.4 GeV/c^2, kanssa. Samoin W:n tuottovaikutusala oli teorian kanssa sopusoinnussa. Signaalin lisäksi ei näkynyt mitään ”taustaa”, toisin sanoen W:n tuottoa matkivia tapahtumia. Uusi lehti aineen perusrakenteen tutkimuksen historiassa oli kääntynyt.

Huomio kääntyi nyt Z-bosonin etsintään. Joulukuussa alkaneen talviseisokin aikana SPS:n fyysikot ja insinöörit työskentelivät ahkerasti törmäyttimen luminositeetin kasvattamiseksi. GWS-teorian ennuste Z:n tuottovaikutusalalle oli tekijällä kymmenen pienempi kuin W:lle, joten luminositeetin nosto oli tarpeen. Toisaalta Z-bosoni on sisartaan helpompi havaita leptonisissa hajoamiskanavissa (esim. $Z \rightarrow e^+e^-$ tai $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$), kun molemmat hajoamishiukkaset ovat sähkövarauksellisia joten ne nähdään ratailmaisimilla. SPS-törmäytin käynnistettiin ja kokeet aloitettiin huhtikuun puolivälissä. Työ hiukkasuihkujen intensiteetin kasvattamiseksi oli kantanut hedelmää, luminositeetti oli nyt 15-kertainen aiempaan nähden. Edellytykset Z-bosonin löytämiselle olivat olemassa. Ensimmäinen e^+e^--kandidaatti löytyi UA1:llä jo vapun jälkeen 4.5. ja toinen 14.5. Kolmannen kandidaatin löytymisen jälkeen CERN oli jo valmis järjestämään tiedotustilaisuuden Z:n löytymisestä. Se pidettiin kesäkuun ensimmäisenä päivänä.

CERN
SERVICE D'INFORMATION
SCIENTIFIQUE

Volume 126B, number 5 PHYSICS LETTERS 7 July 1983

EXPERIMENTAL OBSERVATION OF LEPTON PAIRS OF INVARIANT MASS AROUND 95 GeV/c^2 AT THE CERN SPS COLLIDER

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland

G. ARNISON [j], A. ASTBURY [j], B. AUBERT [b], C. BACCI [i], G. BAUER [1], A. BÉZAGUET [d], R. BÖCK [d], T.J.V. BOWCOCK [f], M. CALVETTI [d], P. CATZ [b], P. CENNINI [d], S. CENTRO [d], F. CERADINI [d,i], S. CITTOLIN [d], D. CLINE [1], C. COCHET [k], J. COLAS [b], M. CORDEN [c], D. DALLMAN [d,l], D. DAU [2], M. DeBEER [k], M. DELLA NEGRA [b,d], M. DEMOULIN [d], D. DENEGRI [k], A. Di CIACCIO [i], D. DiBITONTO [d], L. DOBRZYNSKI [g], J.D. DOWELL [c], K. EGGERT [a], E. EISENHANDLER [f], N. ELLIS [d], P. ERHARD [a], H. FAISSNER [a], M. FINCKE [2], G. FONTAINE [g], R. FREY [h], R. FRÜHWIRTH [l], J. GARVEY [c], S. GEER [g], C. GHESQUIÈRE [g], P. GHEZ [b], K. GIBONI [a], W.R. GIBSON [f], Y. GIRAUD-HÉRAUD [g], A. GIVERNAUD [k], A. GONIDEC [b], G. GRAYER [j], T. HANSL-KOZANECKA [a], W.J. HAYNES [j], L.O. HERTZBERGER [3], C. HODGES [h], D. HOFFMANN [a], H. HOFFMANN [d], D.J. HOLTHUIZEN [3], R.J. HOMER [c], A. HONMA [f], W. JANK [d], G. JORAT [d], P.I.P. KALMUS [f], V. KARIMÄKI [e], R. KEELER [f], I. KENYON [c], A. KERNAN [h], R. KINNUNEN [e], W. KOZANECKI [h], D. KRYN [d,g], F. LACAVA [i], J.-P. LAUGIER [k], J.-P. LEES [b], H. LEHMANN [a], R. LEUCHS [a], A. LEVÊQUE [k,d], D. LINGLIN [b], E. LOCCI [k], J.-J. MALOSSE [k], T. MARKIEWICZ [d], G. MAURIN [d], T. McMAHON [c], J.-P. MENDIBURU [g], M.-N. MINARD [b], M. MOHAMMADI [1], M. MORICCA [i], K. MORGAN [h], H. MUIRHEAD [4], F. MULLER [d], A.K. NANDI [j], L. NAUMANN [d], A. NORTON [d], A. ORKIN-LECOURTOIS [g], L. PAOLUZI [i], F. PAUSS [d], G. PIANO MORTARI [i], E. PIETARINEN [e], M. PIMIÄ [e], A. PLACCI [d], J.P. PORTE [d], E. RADERMACHER [a], J. RANSDELL [h], H. REITHLER [a], J.-P. REVOL [d], J. RICH [k], M. RIJSSENBEEK [d], C. ROBERTS [j], J. ROHLF [d], P. ROSSI [d], C. RUBBIA [d], B. SADOULET [d], G. SAJOT [g], G. SALVI [f], G. SALVINI [i], J. SASS [k], J. SAUDRAIX [k], A. SAVOY-NAVARRO [k], D. SCHINZEL [d], W. SCOTT [j], T.P. SHAH [j], M. SPIRO [k], J. STRAUSS [l], J. STREETS [c], K. SUMOROK [d], F. SZONCSO [l], D. SMITH [h], C. TAO [3], G. THOMPSON [f], J. TIMMER [d], E. TSCHESLOG [a], J. TUOMINIEMI [e], B. Van EIJK [3], J.-P. VIALLE [d], J. VRANA [g], V. VUILLEMIN [d], H.D. WAHL [l], P. WATKINS [c], J. WILSON [c], C. WULZ [l], G.Y. XIE [d], M. YVERT [b] and E. ZURFLUH [d]

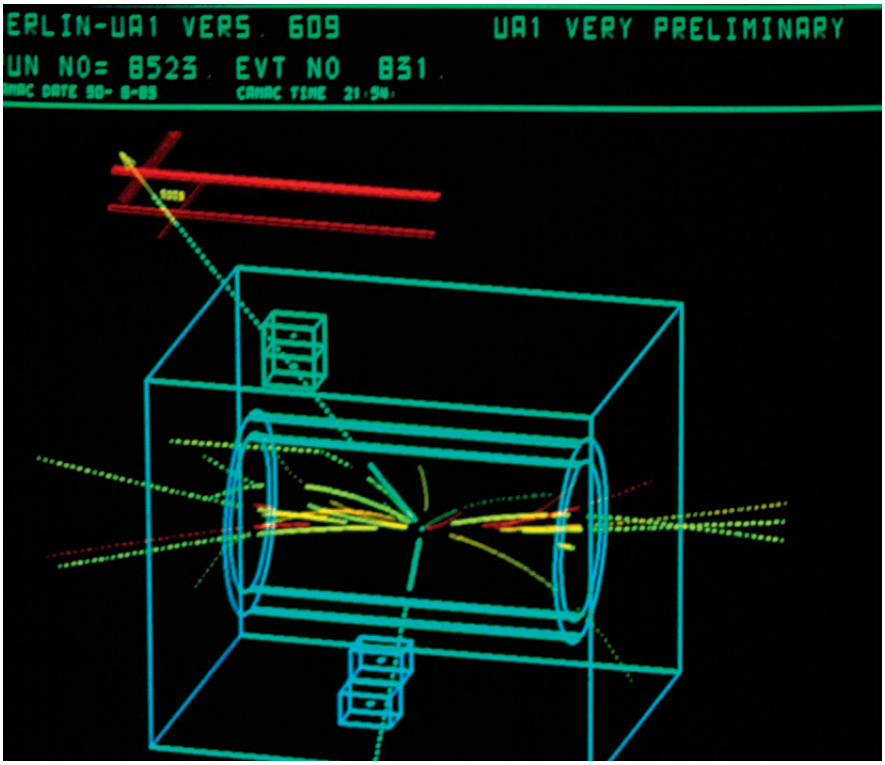
Aachen [a] – Annecy (LAPP) [b] – Birmingham [c] – CERN [d] – Helsinki [e] – Queen Mary College, London [f] – Paris (Coll. de France) [g] – Riverside [h] – Rome [i] – Rutherford Appleton Lab. [j] – Saclay (CEN) [k] – Vienna [h] Collaboration

Received 6 June 1983

We report the observation of four electron–positron pairs and one muon pair which have the signature of a two-body decay of a particle of mass ~95 GeV/c^2. These events fit well the hypothesis that they are produced by the process $\bar{p} + p \rightarrow Z^0 + X$ (with $Z^0 \rightarrow \ell^+ + \ell^-$), where Z^0 is the Intermediate Vector Boson postulated by the electroweak theories as the mediator of weak neutral currents.

[1] University of Wisconsin, Madison, WI, USA.
[2] University of Kiel, Fed. Rep. Germany.
[3] NIKHEF, Amsterdam, The Netherlands.
[4] Visitor from the University of Liverpool, England.

0 031-9163/83/0000–0000/$ 03.00 © 1983 North-Holland



MEGATEK-kuva protoni-antiprotoni-törmäyksestä, jossa syntynyt Z^0-bosoni on hajonnut kahteen myoniin. Myonit eivät anna signaalia sähkömagneettisessa kalorimetrissä, sen sijaan ne havaitaan hadronikalorimetrissä (suorakulmiot). Niiden identifiointi myoneiksi tapahtuu myoni-ilmaisimissa, joihin asti muut hiukkaset (elektronit ja hadronit) eivät pääse (punaiset kuviot kuvaavat lankakammioiden antamia signaaleja). (Kuva CERN).

Kaikkiaan UA1 löysi tässä ajossa neljä elektroni-positroni-hajoamista ja yhden myoniparihajoamisen. Nytkään tapauksilla ei ollut ”taustaa”, elektroni-positroni -parien mitatut massat olivat mittaustarkkuuden sisällä samat, eikä massan jakautumassa näkynyt Z-massapiikin läheisyydessä ala- tai yläpuolella yhtään tapausta. Massan mittaus oli helpompaa kuin W:n tapauksessa, kun molemmat hajoamisessa syntyneet hiukkaset voitiin havaita suoraan. Mittaus antoi tulokseksi (95.2 ± 2.5) GeV/c^2, mikä oli jälleen hyvässä sopusoinnussa teoreettisten ennusteiden kanssa. Tulokset julkaistiin kesäkuun 6. päivänä 1983. UA2 seurasi jälleen vähän myöhässä, koejakson päättyessä heinäkuun alussa UA2:n puhemies, Pierre Darriulat, julkisti seminaarissaan neljä Z-hajoamista.

UA1 löysi tämän koejakson aikana lisää 55 kappaletta W:n elektroni-neutrino -hajoamisissa ja 14 myoni-neutrino -hajoamisissa. Hajoamistulosten mitatusta kulmajakautumasta voitiin nyt tilastollisesti luotettavasti

SEFLin UA1-”Dream Team” v. 1981. Vasemmalta Martti Pimiä, Veikko Karimäki, Ritva Kinnunen, Esko Pietarinen, Jorma Tuominiemi (kuva Helsingin yliopisto, Mauri Ratilainen)

päätellä, että löydetyn hiukkasen spin oli 1 ja vuorovaikutus V-A -tyyppinen (pariteettisymmetrian rikkova). Kysymyksessä olivat siten selvästi GWS-teorian ennustamat välibosonit.

Teorian todentamisessa oli otettu toinen historiallinen askel.

Jo tässä vaiheessa UA-kokeiden tavoitteet oli oleellisesti saavutettu, oli löydetty W- ja Z-bosonit, niiden mitatut massat olivat mittausvirheiden puitteissa sopusoinnussa GWS-teorian ennusteiden kanssa ja niiden hajoamisessa oli mitattu V-A asymmetria odotusten mukaisesti. Tulokset saavutettiin loppujen lopuksi helposti. Vastoin ennakkoon esitettyjä pelkoja W- ja Z-bosonien tuottoreaktiot eivät olleet vaikeita mitata. Tämä kaikki osoitti, että UA-koeasemien suunnittelu oli onnistunut. Toinen tärkeä tavoite, hadroniryöppyjen olemassaolo, oli varmistettu jo v. 1981 kokeissa ja niiden ominaisuudet todettu yhtäpitäviksi QCD:n ennusteiden kanssa. Niiden tuottovaikutusalaa koskevien teoreettisten QCD-laskujen epävarmuus oli tosin vielä tuossa vaiheessa 50 %:n luokkaa.

SEFLin tutkimusryhmä oli keskeisessä asemassa tämän UA1-kokeen pioneerivaiheen alusta asti ja vastasi osaltaan keskuskammion antaman datan analyysistä. Ryhmä näytteli pienestä koostaan huolimatta merkittävää osaa myös välibosonien kaivamisessa tutkimusmateriaalista ja niiden lopullisessa identifioinnissa.

UA1-koe osoittautui CERNin siihen asti tieteellisesti merkittävimmäksi tutkimushankkeeksi. Suomalaiselle hiukkasfysiikan tutkimukselle kokeeseen osallistuminen avasi monessa suhteessa ainutlaatuisia mahdollisuuksia. Paitsi että päästiin tutkimuksen eturintamaan, voitiin kokeen puitteissa tutustua uusiin, ajanmukaisiin tutkimusmenetelmiin kokeellisessa hiukkasfysiikassa. Voitiin aloittaa menetelmien kehitystyötä myös kotilaboratoriossa Helsingissä. Toiminnallinen yhteys aineen perusrakenteen eturivin tutkimukseen oli myös merkityksellistä fysiikan opetukselle Helsingin yliopistossa.

Suomen Akatemia, erityisesti sen tutkimusjohtaja Elisabeth Helander, osoitti kaukonäköisyyttä ja ennakkoluulottomuutta suomalaisen hiukkasfysiikan tutkimuksen edistämisessä. Hän auttoi hankkeen alkuun ja tuki sitä niin, että pääsimme kokeeseen tehokkaasti mukaan ennen välibosonien metsästystä. Välibosonien löytämisen jälkeen OPM:n ja Akatemian tuki kokeelliselle hiukkasfysiikalle vahvistui jonkin verran. Todettiin, että Suomen oli osallistuttava myös laitteistojen rahoitukseen kokeissa, joihin suomalaiset tutkijat osallistuivat.

Välibosonien löytyminen sai varsin paljon huomiota suomalaisessa mediassa. Menestys ei kuitenkaan vaikuttanut paljoa alan arvostukseen Suomen tiedepiireissä. Lisävakansseja ei juurikaan saatu, mutta tutkimuksen rahoitus vakiintui. Suomen Akatemia solmi v. 1985 uuden yhteistyösopimuksen CERNin kanssa, jossa otettiin huomioon osallistuminen niiden kokeiden laitteiston rahoittamiseen, joihin suomalaiset tutkijat osallistuivat. Rahoituksen vahvistuminen teki mahdolliseksi aloittaa seuraavan sukupolven kokeiden (CERNin LEP-törmäytin) suunnittelu päällekkäin UA1-kokeen loppuun viemisen kanssa. Kokeellinen hiukkasfysiikka koettiin kuitenkin edelleen kapeana ja kalliina alana ”häiriköksi” suomalaisessa tieteenharjoituksessa, kuten keskustelu Suomen CERNin jäseneksi liittymisestä tuli osoittamaan.

Veikko Karimäen armoton ”kink finder”

Seuraava anekdootti kuvaa osaltaan SEFLin ryhmän keskeistä panosta W-bosonien löytämisessä. W:n hajoaminen myoniin ja neutriinoon oli huomattavasti vaikeampaa identifioida kuin elektroni-neutriino -hajoamiset. Törmäyksissä syntyneet π- ja K -mesonit hajoavat myoniin ja neutriinoihin keskusratailmaisimen sisällä ja antavat merkittävän taustan myoniselle hajoamiskanavalle. Kun hajoamiskulma on hyvin pieni, π- ja K -mesonien hajonnassa syntyneitä myoneja on vaikea erottaa myoneista, jotka ovat syntyneet lähellä törmäyspistettä W:n hajotessa. Veikko Karimäki sai vastuulleen poistaa tämä tausta. Veikko oli tuolloin jo yksi johtavista eksperteistä hiukkasjälkien ratojen rekonstruktiossa. Hän kehitti taustan eliminoimiseen algoritmejä, joilla voitiin tarkasti havaita π- ja K -mesonien hajoamispiste. Näillä ”kink-findereillä” voitiin tausta painaa riittävän alas myonikanavan mittaamista varten. Analyysin olleessa kuumimmillaan talvella ja keväällä 1982–83 Rubbia tuskastui siihen, että Karimäeltä tuli jatkuvasti W-kandidaateille tuomioita ”kink, fake prompt muon”. Hän puuskahti minulle: ”Karimäki is a depressing person, he is killing all our muon candidates.”

3.6. Nobelin palkinto v. 1984 Carlo Rubbia vierailee SEFLillä

UA1-kokeen menestys kruunattiin v. 1984 Nobelin fysiikan palkinnolla, joka myönnettiin kokeen puhemiehelle ja CERNin SPS-törmäytin -projektin alkuunpanijalle professori Carlo Rubbialle sekä antiprotonisuihkujen stokastisen jäähdytysmenetelmän kehittäjälle Simon van der Meerille. Palkinto julkistettiin 17.9.1984. SEFLin silloinen vt. esimies Heimo Saarikko hoiti lehdistötiedotteen Helsingissä. CERNissä palkintoa juhlittiin heti 17.9. samppanjalla Rubbian toimistorakennuksessa. Seuraavana iltapäivänä järjestettiin UA1-koehallilla juhlatilaisuus, jossa Rubbia ja van der Meer olivat läsnä. Keskustelin tilaisuudessa Rubbian kanssa aiemmin puheena olleesta Helsingin vierailusta Nobel-juhlallisuuksien jälkeen. Hänen vahvistuksensa kuului: ”To Helsinki in December, that’s a commitment…”

Carlo Rubbia ja Simon van der Meer UA1:n koehallilla 17.9.1984 Nobel-juhlassa. (Kuva CERN).

Helsingin yliopiston rehtori, professori Olli Lehto lähetti 12.11. Rubbialle kutsun vierailla SEFLillä Tukholman Nobel-juhlallisuuksien jälkeen. Rubbia vastasi 17.11. ja ehdotti vierailupäiväksi 14.12.1984, jolloin hän tulisi aamulennolla suoraan Tukholmasta. Rubbiaa oli sitten vastassa Helsinki-Vantaan lentoasemalla Italian Suomen-suurlähettiläs Giovanni Saragat ja Italian suurlähetystön väkeä. Suurlähetystö oli varannut majoituksen hotelli Palacesta.

Rubbia ja Nobel-mitali

Olin vastassa Rubbiaa Hotelli Palacen aulassa. Carlo kaivoi salkustaan tuoreen Nobel-mitalin ja kysyi vahtimestarilta, oliko heillä kassakaappia sen säilyttämistä varten. Sellainen tietysti löytyi. Samassa Carlo lykkäsi mitalin kouraani ja kehotti punnitsemaan sitä: ”It’s heavy.”

Puolelta päivin rehtori Lehto tarjosi Rubbialle lounaan ravintola Königissä, jossa koko UA1-ryhmämme oli mukana. Rubbia kehui vuolaasti osuuttamme UA1-kokeessa ja kertoi kaikkien kontribuutioista kauniisti. ”The Finns turned out to be much better than it looked first.” Lounaan jälkeen pidettiin lehdistötilaisuus SEFLin seminaarihuoneessa, jossa paikalla oli vaatimattomasti kaksi toimittajaa.

Tämän jälkeen seurasi Rubbian esitelmä SEFLin suuressa luentosalissa. Kyseessä oli hänen Nobel-luentonsa, jonka otsikko oli ”Experimental observation of intermediate vector bosons W and Z”. Nyt oli tupa täynnä.

Lehdistötilaisuus suurenergiafysiikan laitoksella Siltavuorenpenkereellä 14.12.1984. Kuvassa vasemmalta Esko Pietarinen, Jorma Tuominiemi, Carlo Rubbia, Ritva Kinnunen, Veikko Karimäki. (Kuva Helsingin yliopisto)

Rubbia pitämässä esitelmää SEFLin luentosalissa 14.12.1984. Ylemmässä kuvassa Rubbiasta vasemmalle rehtori Olli Lehto, suurlähettiläs Saragat, Akatemian johtaja professori Kai Otto Donner. (Kuvat Helsingin yliopisto)

Eturivissä istuivat rehtori Lehto ja Suomen Akatemian johtaja Kai Otto Donner, suurlähettiläs Saragat ja muuta lähetystön väkeä. Esitelmän jälkeen toimittaja Esa-Matti Hytönen haastatteli Rubbiaa Helsingin Sanomiin. Haastattelun jälkeen Rubbia siirtyi hotelli Palaceen ja kutsui mukaansa UA1-ryhmämme. Kilistelimme samppanjaa hänen sviitissään ja muistelimme iloisen tunnelman vallitessa kokeen vaiheita.

Illalla Suomen Akatemian johtaja Kai Otto Donner tarjosi Carlolle illallisen Svenska Klubbenilla. Keskustelu tilaisuudessa oli vilkasta, käsiteltiin teknologian siirtoa, tietysti suomalaisten osallistumista UA1-kokeeseen ja Suomen asemaa CERNissä. Viimeksi mainittu aihe oli ajankohtainen, kun noihin aikoihin puuhattiin uutta yhteistyösopimusta Suomen Akatemian ja CERNin välillä. Varhain seuraavana aamuna Rubbia lensi Geneveen, suurlähettiläs Saragat oli saattamassa häntä Helsinki-Vantaan lentokentällä.

Suomessa Nobelin palkinto toi luonnollisesti huomiota ja julkisuutta CERNille, hiukkasfysiikan tutkimukselle ja suomalaisten panokselle siihen. Yhteiskunnallista sävyäkin julkisuus sai, kun Suomen Naistoimittajat ry valitsi Ritva Kinnusen vuoden 1985 ”Kellokkaaksi”. Siitä seurasikin sitten kutsu Ritvalle syksyllä Linnan juhliin.

3.7. UA-kokeiden jatko 1984–85, top-kvarkin etsintää ja monojettejä

Vuoden 1983 UA-kokeissa oli saatu kerättyä vain osa (170 nb^{-1}) alun perin tavoitteeksi asetetusta 1000 nb^{-1}:n kokonaisluminositeetista. CERN päätti jatkaa kokeita edelleen vv. 1984–85. SPS-törmäyttimen suihkujen energia saatiin nostettua 315 GeV/c:hen ja sen luminositeetti kolminkertaistui vuoden 1983 ajoihin nähden.

SPS-törmäyttimen luminositeetin nousu asetti kasvavia vaatimuksia UA1:n datankeruulaitteiston kapasiteetille. Tätä varten suunniteltiin uusi järjestelmä, joka perustui juuri kehitettyyn, entistä nopeampaan VME-tietoväylästandardiin. SEFLin ryhmä osallistui työhön aktiivisesti. Esko Pietarisen johdolla kehitettiin nopea crate interconnect -moduli VME-kehikkojen välistä datansiirtoa ja kontrollia varten. Tässä saatiin ensimmäistä kertaa suomalaista teollisuutta mukaan hiukkasfysiikan tutkimusprojektiin, Robcon Oy suunnitteli yhdessä CERNin ja SEFLin UA1-ryhmien kanssa tehokkaan VME-väylään sopivan keskussuorittimen, joita alettiin asentaa v. 1984 UA1:n tiedonkeruulaitteistoon. Hanke rahoitettiin Suomen Akatemian Hiukkasfysiikan komitean budjettiin osoittamilla laiterakennukseen tarkoitetuilla määrärahoilla.

UA1-kokeita jatkettiin vuoteen 1985. SPS-törmäyttimen suihkujen energia nostettiin 320 GeV/c:hen ja luminositeettia kasvatettiin edelleen tasaisesti pienillä parannuksilla AA-renkaassa ja suihkujen siirtolinjoissa. Kaikkiaan

vv. 1984–85 saatiin kerättyä yhteensä 700 nb^{-1} integroitua luminositeettia vastaava määrä dataa. Tärkein tutkimuskohde oli edelleen GWS-teorian entistä tarkempi kokeellinen testaus W- ja Z -bosonien tuottoreaktioiden avulla. Kaikkiaan rekisteröitiin 371 W-bosonia ja 53 Z-bosonia, joten W- ja Z-bosonien massan mittaus tarkentui edelleen. W:n massaksi mitattiin 83.5 $\pm$ 1.0 $\pm$ 2.7 GeV/c^2 ja Z^0:n massaksi 93.0 $\pm$ 1.4 $\pm$ 3.0 GeV/c^2, missä ensimmäinen virhe on tilastollinen virhe ja jälkimmäinen termi UA1-laitteiston energian mittaustarkkuus. Kuten näkyy, tilastollinen virhe oli jo systemaattista virhettä pienempi. Kaikki koetulokset olivat 3 % tarkkuudella yhtäpitäviä teorian kanssa.

Uudeksi tavoitteeksi SPS-törmäyttimen luminositeetin kasvaessa tuli top-kvarkin etsintä. Teoreettiset ennusteet – tai paremminkin arvailut – sen massalle liikkuivat 10–40 GeV:n välillä. Arvailut olivat pahasti pielessä, kuten nyt tiedetään, top-kvarkin massa on 173 GeV/c^2, kaukana SPS-törmäyttimen tavoittamattomissa. Top-kvarkki löytyi Fermilabissa Tevatron-törmäyttimellä tehdyissä kokeissa vasta 1995. Teoreettiset arvailut antoivat kuitenkin pontta etsinnöille CERNissä. Vuoden 1984 datassa löydettiin muutamia reaktioita, jotka olivat topologialtaan top-kvarkin hajoamisreaktion kaltaisia: kaksi hadroniryöppyä, elektroni tai myoni ja neutriino eli puuttuvaa energiaa. Ne herättivät kovasti huomiota, esimerkiksi CERNin viikkobulletiini raportoi niistä jo 16.7.1984. Tarkempi analyysi osoitti kuitenkin, että kandidaattitapahtumat olivat selitettävissä muunlaisten törmäysprosessien, ”taustareaktioiden” avulla. Vuoden 1984 datasta UA1 julkaisi tutkimustulokset, joissa todettiin mittausvirheiden arvioinnissa olevan vielä niin paljon epävarmuutta, että top-kvarkin massan alarajaa ei niistä vielä kunnolla voitu määrittää. Vuoden 1985 datastakaan ei signaalia löytynyt, kandidaattieventit voitiin jälleen selittää taustareaktioilla. Nyt mittausvirheiden arviointi oli kuitenkin tarkempaa ja yläraja top-kvarkin tuottovaikutusalalle voitiin mitata kohtuullisella tarkkuudella. Vertaamalla sitä saatavilla oleviin QCD-laskuihin top-kvarkin vaikutusalasta saatiin alaraja kvarkin massalle. Teoreettiset ennusteet vaihtelivat kuitenkin vielä suuresti ja mitattu massan alaraja vaihteli näin 44 GeV/c^2:n ja 56 GeV/c^2:n välillä (95 % CL).

Suurta mielenkiintoa herättivät datasta löytyneet törmäystapahtumat, joissa esiintyi suurenerginen hadroniryöppy ja puuttuvaa energiaa ryöpyn vastakkaisella puolella. Nämä saivat nimekseen ”monojet-eventit” (nimitys esiintyy edelleen LHC-kokeissa). Yksinkertaisimmissa supersymmetriateorioissa kevyin supersymmetrinen hiukkanen vuorovaikuttaa heikosti aineen kanssa, jolloin mittauksissa havaitaan puuttuvaa energiaa samalla tavalla kuin neutriinojen tapauksessa. Niinpä monojet-eventtien spekuloitiin olevan merkkejä supersymmetriasta. Vertaamalla mittauksia esitettyihin teoreettisiin laskuihin supersymmetristen hiukkasten tuotosta voitiin arvioida, että gluonien supersymmetrisen sisarhiukkasen (gluinon) massan oli oltava suurempi kun 40 GeV/c^2, jos niitä olisi olemassa teoreetikoitten ennustamalla tavalla.

Top-kvarkin etsintä ja monojet-eventit motivoivat CERNiä harkitsemaan UA-kokeiden jatkoa vielä 1985 jälkeen sekä suunnittelemaan antiprotonien tuottoa varten toista jäähdytys-varastointi-rengasta.

SEFLssä valmistui tässä vaiheessa UA1-projektista kaksi väitöskirjaa. Ritva Kinnunen väitteli 27.9. 1984, aiheena ”Production and decay of intermediate vector bosons and top quark in ppbar-collisions at 540 GeV/c.” (HUP-P-D421). Vastaväittäjänä toimi Dr. D.P.Roy Tata-instituutista Mumbaista, Intiasta. Seuraavana vuonna 18.12.1985 Martti Pimiä väitteli aiheesta ”Track finding in the UA1 central detector at the CERN p-pbar Collider” (HUP-P-D45). Hänen vastaväittäjänään toimi Dr. Daniel Drijard CERNistä. SEFLin ryhmä vahvistui v. 1986 kolmella jatko-opiskelijalla. FK Timo Korhonen tuli Esko Pietarisen jatko-opiskelijaksi. FK Paula Eerola teki pro gradu-tutkielmansa UA1-kokeessa hadroniryöppyjen fysiikasta käyttäen 1984–85 dataa. Eerola siirtyi sen jälkeen SEFLin DELPHI-projektiin. Timo Korhonen työskenteli Esko Pietarisen tohtoriopiskelijana ja väitteli vuonna 1997. Hän oli siirtynyt UA1-kokeesta Japaniin, jossa hän työskenteli Japanin kansallisessa suurenergiafysiikan laboratoriossa (KEK) VENUS-kokeessa. Väitöskirjan aiheena oli ”Real Time Computing with parallel processors: The VENUS Second Level Trigger”. Vastaväittäjä toimi Dr. W.J. Haynes Rutherford-laboratoriosta, joka 1980-luvulla työskenteli UA1-kokeessa Esko Pietarisen kanssa yhteistyössä. Jatko-opiskelijoista Jukka Neppius työskenteli Veikko Karimäen jatko-opiskelijana, mutta siirtyi pian teollisuuden palvelukseen.

3.8. Kokeellisen ydin- ja hiukkasfysiikan perustutkimuksen arviointi Suomessa v. 1985

Valtion tiedeneuvosto käynnisti 1980-luvun alussa perustutkimuksen kansainväliset arvioinnit Suomessa. Arviointien järjestäminen annettiin Suomen Akatemian tehtäväksi. Vuonna 1984 oli ydin- ja hiukkasfysiikan vuoro. Tehtävään kutsuttiin kansainvälinen asiantuntijaryhmä, johon kuuluivat professori Peter von Brentano Kölnin yliopistosta, professori Erwin Gabathuler Liverpoolin yliopistosta, professori Peder Gregers Hansen Aarhusin yliopistosta, professori Haruhiko Morinaga Munchenin yliopistosta sekä professori LeónVan Hove CERNistä. Ryhmän puheenjohtajaksi Suomen Akatemia nimitti professori Rauno Hämäläisen Joensuun yliopistosta. Sihteerinä toimi Erkki Pajanne TFT:stä. Hämäläinen ja Pajanne eivät osallistuneet itse arviointiin. Arvioinnin kohteena olevat tutkimusryhmät toimittivat arviointiryhmälle Suomen Akatemian ohjeiden mukaisen kirjallisen materiaalin syyskuussa 1984. Maaliskuussa 1985 ryhmä vieraili arvioinnin kohteena olevissa laboratorioissa. Kunkin vierailun jälkeen ryhmä kokoontui laatimaan arviointiraportin tarkastetun instituutin toiminnasta. Hiukkasfysiikka ja SEFL

oli vuorossa 19.3.1985. Koko arviointiraportti julkistettiin 8.7.1985 Suomen Akatemian raporttisarjassa.

SEFLin kohdalla arviointiryhmä esitti neljä suositusta.

1. The personal positions of the leading experimental physicists of the Helsinki group must be improved to bring them to a level of permanency and seniority in line with their scientific competence and responsibility. The necessary improvements of positions must be made in such a way as not to disrupt the effective workings relations now in the department.

Suositus ei ottanut lainkaan tuulta Suomessa ennen kuin Suomi liittyi CERNiin v. 1991, Suurenergiafysiikan tutkimuslaitosta perustettaessa (kts. myöhemmin).

2. Finland must grant to the Helsinki experimental groups a very substantial increase of financial support for equipment and travel. This support should progressively grow from the present level of 1.6 Mmk (for the year 1985) to a level of about 3.5 Mmk per year at present prices.

Arviointiryhmä katsoi esitetyn rahoitustason tarvittavan tuolloin aktiivisille tutkimusryhmille (lähinnä UA1, DELPHI), jotta niillä olisi edellytykset tehdä ”front-line” -tutkimusta. Vähän ennen arviointiryhmän vierailua, tammikuussa 1985 allekirjoitettu Suomen Akatemian ja CERNin välinen yhteistyösopimus huomioi kokeiden laitekustannukset, mutta se sisältänyt mitään lukuja Suomen odotetuista kontribuutioista CERNin kokeisiin. Opetusministeriön kantana oli ”minkäänlaisiin sitoumuksiin Suomen rahoitusosuuksien vähimmäistasosta ei asiakirjassa voida sitoutua”. Arviointiryhmän suositusta lähemmäs päästiin vasta Suomen liityttyä CERNiin (kts. luku 4.5.)

3. The department should encourage more students to work in the present physics programme of the UA1 experiment.

Professori Gabathuler otti tämän esille jo alustavissa keskusteluissa. ”UA1 represents the best physics today, I cannot understand why your students are not interested.” Suosituksen seuraaminen osoittautui vaikeaksi. Fysiikan opiskelijoiden piirissä kokeellinen alkeishiukkasfysiikka ei ollut saavuttanut vielä merkittävää suosiota. Yhtenä syynä tähän oli, että UA1-kokeella ei ollut selvästi näkyvää laboratoriotoimintaa kotimaassa ja CERN oli opiskelijoille vielä etäinen. Toisaalta DELPHI-kokeen rakentaminen oli jo päässyt vauhtiin Helsingissä ja se merkitsi myös jatkokoulutuksen monipuolistumista. Noin

20 jatko-opiskelijasta, jotka liittyivät DELPHI-projektiin, suurin osa lähti tekemään tutkimus- ja kehitystyötä muussa kuin varsinaisessa hiukkasfysiikassa, lähinnä materiaalifysiikassa ja elektroniikassa. Heistä suurin osa tuli Teknillisestä korkeakoulusta. Näin jatkokoulutus laajeni DELPHI-kokeen myötä myös muitten korkeakoulujen piiriin, millä tuli olemaan merkitystä CERNin jäsenyyttä harkittaessa.

4. The experimental physics group should concentrate all the activities into maximizing the physics output from the UA1 and DELPHI experiments and should develop the necessary graphics/computer facilities to enable the analyses to be carried out efficiently in the home institute in conjunction with the collaborators.

Tätä suositusta onnistuttiinkin tietyllä menestyksellä toteuttamaan jo ennen Suomen liittymistä CERNiin sekä 1990-luvulla DEPHI-kokeessa.

UA1-kokeesta ryhmä totesi lisäksi, että valmistautuminen sen toiseen vaiheeseen 1986–88 oli hyvässä mallissa. Lisääntynyt laitteistorakentaminen oli myös linjassa DELPHI-kokeeseen osallistumisen kanssa. UA1-ryhmän katsottiin olevan hyvässä asemassa jatkamaan fysiikan eturintamassa aina 1990-luvun puolelle.

DELPHI-kokeesta ryhmä totesi, että sen myötä SEFL on ensimmäistä kertaa aloittanut merkittävän laiterakentamisen CERNin kokeisiin, mikä on vaatinut uuden infrastruktuurin pystyttämistä laitokselle. Tämä teknillinen kehitys todettiin korkeatasoiseksi ja yhteistyötä suomalaisen teollisuuden kanssa rohkaistiin. NA22-koe oli juuri päättymässä ja sen menestyksellinen loppuun vienti oli ryhmän mielestä tärkeätä SEFLin maineen kannalta. Lisäksi arviointiryhmä esitti, että NA22-tutkimusryhmän oli seuraavaksi liityttävä DELPHI-projektiin, jotta sen pitkäaikaista kokemusta voitaisiin hyödyntää DEPLHI-kokeen fysiikan analyysissä. JADE-ryhmästä todettiin sen menestys mikroprosessorijärjestelmien kehitystyössä ja painotettiin sen tärkeyttä laitoksen pitkän tähtäimen kehitysohjelmassa hiukkasfysiikan kokeissa ja myös sen ulkopuolella.

Kaiken kaikkiaan arviointikomitean raportin välitön näkyvä vaikutus oli pieni, varsinkin suositukset vakansseista ja rahoituksesta jäivät roikkumaan ilmaan. Raportti oli kuitenkin ensimmäinen kansainvälinen asiantuntija-arvio kokeellisesta hiukkasfysiikan tutkimuksesta Suomessa ja sellaisena muodosti pohjan tuleville arvioinneille ja päätöksille.

3.9. UA-kokeiden toinen vaihe 1987–89, Higgsin hiukkasen etsintää

UA-kokeiden ensimmäisen vaiheen tulokset osoittivat, että mahdollisuuksia löytää ”uutta fysiikkaa” SPS-törmäyttimen avulla ei ollut vielä ammennettu tyhjiin. Vuoden 1984 alussa CERN tekikin päätöksen jatkaa kokeita 1986–1989. Päätutkimustavoitteiksi asetettiin W-bosonin massan mittauksen tarkentamisen ohella top-kvarkin etsinnän jatkaminen. Lisäksi tähdättiin b-kvarkin fysiikan tutkimukseen ja kvanttikromodynamiikan (QCD) tarkempaan testaamiseen hadroniryöppyjen tutkimuksella.

CERN päätti rakentaa törmäyttimen luminositeetin kasvattamiseksi toisen antiprotonien keräysrenkaan (ACOL) AA:n oheen. Antiprotonisuihkujen jäähdytys oli tarkoitus tehdä ACOL-renkaassa ja suihkujen varastointi ja pakkaus jäivät AA-renkaan tehtäväksi. Näin voitiin SPS-törmäyttimeen injektoitujen antiprotonisuihkujen intensiteettiä nostaa merkittävästi ja parantaa kokeiden potentiaalia löytää harvinaisia uusia prosesseja. ACOL:n rakentamispäätöksen läpivienti CERNin Neuvostossa ei ollut helppoa, sillä CERNin budjetti oli jo suunnattu kokonaan LEP-törmäyttimen rakentamiseen. Pääjohtaja Schopperilta vaadittiin jonglöörin taitoja, jotta hän sai ujutettua ACOLin rakentamisen CERNin vuosibudjetin sisälle – CERNin neuvosto oli aiemmin päättänyt budjettikatosta. Operaatio onnistui CERNin sisäisillä säädöillä. ACOL-rengas käynnistyi jonkin verran suunnitelmista myöhässä syksyllä 1987.

ACOL-renkaalla ja AA:n parannuksilla oli tavoitteena nostaa SPS:n luminositeettia tekijällä kymmenen, jotta esimerkiksi top-kvarkin metsästystä voitiin jatkaa ja monojet-signaalin alkuperää selvittää entistä paremmin. Tutkimustavoitteisiin liitettiin myös Higgsin hiukkasen etsintä. Higgsin hiukkasen tuottovaikutusalalle GWS-teorian (standardimallin) ennusteiden mukaan sen löytyminen oli mahdollista, jos sen massa oli alle 80 GeV.

UA-kokeissa aloitettiin koeasemien parannusten suunnittelu ja rakentaminen toista koevaihetta varten. UA1:ssä suurin uudisrakennus oli tuikeilmaisimiin ja lyijyabsorbaattoriin perustuvan sähkömagneettisen kalorimetrin korvaaminen uudella. Protoni-antiprotoni-törmäyksissä syntyneiden hiukkasten aiheuttama säteilyannos oli odotetusti kellastuttanut sähkömagneettisen kalorimetrin muovituikeilmaisimia. Valon absorptiopituus tuikemuovissa oli lyhentynyt siinä määrin, että kalorimetrin mittaustehokkuus oli merkittävästi huonontunut. Englantilaisilla UA1-ryhmillä oli valmis suunnitelma rakentaa uusi entisenlainen tuikeilmaisinkalorimetri, mutta UA1-kollaboraatio päätyi lopulta Carlo Rubbian voimakkaasti ajamaan vaativampaan uudishankkeeseen. Uuden kalorimetrin absorbaattorimateriaaliksi valittiin uraani. Uraaniabsorbaattoriin osuva hiukkanen aiheuttaa muiden reaktioiden ohella myös fissioprosesseja, jotka kasvattavat kalorimetrin energiavastetta synnyttämällä enemmän mitattavia sähkövarauksellisia hiukkasia ja siten parantavat sen

energiamittauksen tarkkuutta. Ilmaisimiksi valittiin tuikelaskureitten asemesta säteilyä paremmin kestävät nesteionisaatiolaskurit, joiden nesteenä oli tetrametyylipentaani, TMP. Tällaisia laskureita ei tässä mittakaavassa ollut vielä missään rakennettu. Kalorimetrin oli tarkoitus toimia paitsi sähkömagneettisena myös hadronikalorimetrinä. CERNin SPS-komitea hyväksyi UA1-koeaseman uudistusohjelman marraskuussa 1984. Kustannusarvio oli 25 MCHF. Arvio perustui tuikeilmaisimien käyttöön. Nesteionisaatiolaskureilla varustettu kalorimetri arvioitiin maksavan 5 MCHF enemmän. Tämä kustannusarvio hyväksyttiin v. 1985.

Vuoden 1986 kesällä saatiin rakennettua uuden kalorimetrin ensimmäinen osaprototyyppi, jolla voitiin mitata SPS:n hiukkassuihkujen avulla elektronien ja fotonien energiamittauksen tarkkuutta. Se osoittautui suunnitelmien mukaiseksi. Simulaatiolaskujen avulla voitiin päätellä, että kalorimetri toimisi myös hadronien energian mittauksessa odotetulla tarkkuudella. Testikokeiden perusteella tilattiin teollisuudelta nesteionisaatiolaskureitten kotelot v. 1986 lopulla. Uraanilevyt hankittiin Yhdysvalloista, amerikkalaiset UA1-instituutit hoitivat niiden kustannukset, 1,5 MCHF. Materiaalina oli uraanirikastamojen jätteinä kertynyttä ”köyhdytettyä” uraania, jossa oli hyvin vähän U^{235}:ttä.

Laitteistoa ryhdyttiin täydentämään myös verteksi-ilmaisimella. Ensimmäisen, ajauttamiskammiotekniikkaan perustuneen ilmaisimen osoittauduttua alkaneissa kokeissa huonoksi ratkaisuksi, ryhdyttiin tutkimaan piinauhailmaisimista koostuvan mikroverteksidetektorin rakentamismahdollisuuksia. Näissä tutkimuksissa vv. 1986–87 Martti Pimiä, Veikko Karimäki ja Jorma Tuominiemi SEFLin ryhmästä olivat aktiivisesti mukana. Piinauhailmaisimien teknologia oli kuitenkin vielä lapsenkengissä, joten aikataulu- ja kustannussyistä hankkeesta oli luovuttava. SEFLin ryhmä sai kuitenkin tässä jo peruskoulutusta piinauhailmaisimien toiminnasta. Osaamista hyödynnettiin myöhemmin CMS-kokeessa.

Mikroelektroniikan nopea kehitys oli tehnyt UA1:n käytössä olleet laitteet vanhanaikaisiksi. Liipaisuelektroniikka ja tiedonkeruujärjestelmä uusittiin kokonaan. Vanha tiedonkeruulaitteisto korvattiin edelleen VME-standardiin perustuvalla uudenaikaisella ja joustavasti muunneltavalla järjestelmällä. Tässä käytettiin SEFLissä Esko Pietarisen kehittämiä VMExi-mikropiirikortteja tehokkaaseen rinnakkaislaskentaan. Uusi järjestelmä oli merkittävästi nopeampi ja tehokkaampi kuin UA1:n alkuperäinen tiedonkeruulaitteisto.

SPS-törmäytinkokeiden toisen vaiheen käynnistyessä syksyllä 1987 UA1:n uraani-TMP-kalorimetri oli vielä alkutekijöissään. Nesteionisaatioilmaisimien teollisessa rakentamisessa kohdattiin jatkuvia vaikeuksia erityisesti niiden tiiviyden kanssa. Ilmaisinkoteloiden valmistajaa vaihdettiin, mutta vaikeudet jatkuivat. Lopulta osoittautui, että kalorimetriä ei ollut mahdollista saada valmiiksi UA1-kokeen toisen vaiheen ajojen alkuun mennessä.

Näin UA1-koeasemassa ei ollut UA-kokeiden toisessa vaiheessa 1987–89 lainkaan elektronien ja fotonien ilmaisuun tarvittavaa kalorimetria. Toiminnassa olivat alkuperäiset keskusratailmaisinkammio (eräin parannuksin), hadronikalorimetri sekä täydennetty ja laajennettu myoni-ilmaisinjärjestelmä. Tämä rajoitti UA1-kokeen tutkimustavoitteita, mutta teki edelleen mahdolliseksi top-kvarkin etsimisen sen myonisten hajoamisten avulla.

UA1-projektin U-TMP-kalorimetrin viivästyminen sekä Fermilabin odotettua nopeampi edistyminen protoni-antiprotoni-kokeissa nosti 1989 kuluessa kritiikkiä UA1-kokeen jatkamista kohtaan. CERNin SPS-komitea esitti suosituksissaan 1989 syksyllä, ettei UA1-koetta enää jatkettaisi. Perusteluina oli, että Fermilabin Tevatron-törmäyttimen törmäysenergia 1,8 TeV oli merkittävästi SPS-törmäyttimen energiaa suurempi ja sen luminositeetti jo yli kolminkertainen SPS-törmäyttimeen verrattuna. Lisäksi Tevatronin CDF-koeasemaan oli rakenteilla piinauhatekniikkaan perustuva verteksidetektori, mikä oli oleellinen parannus top-kvarkin etsinnässä. CERNin Research Board päätti vuoden 1989 lopussa katsoa UA1-kokeen päättyneeksi ja sulkea SPS-törmäyttimen viimeistään v. 1992. U-TMP-kalorimetrin rakentaminen muutettiin R&D-projektiksi. Lisäpontimena päätökselle oli CERNin 1990-luvulla käytössä olevien resurssien uudelleenarviointi. LEP-törmäytin oli käynnistynyt syksyllä 1989 ja suunnitelmat LEP-tunneliin myöhemmin rakennettavasta LHC-törmäyttimestä olivat konkretisoitumassa. Resursseja oli ohjattava niihin.

Carlo Rubbian siirryttyä CERNin pääjohtajaksi vuoden 1989 alusta, UA1:n puhemieheksi valittiin kokeessa alusta alkaen työskennellyt Dr. Alan Norton CERNistä. UA1:n Executive komitean puheenjohtajaksi valittiin professori John Dowell Birminghamin yliopistosta ja varapuheenjohtajaksi dos. Jorma Tuominiemi. Rubbia piti edelleen tarkasti silmällä UA1-kokeen kulkua henkilösuhteittensa kautta.

Kuten aina suurten kiihdytinlaitteistojen sulkemisen tultua ajankohtaiseksi on tapahtunut, osa fyysikkoyhteisöstä nousi jarruttamaan SPS-törmäyttimen sulkemista. Näin oli viimeksi käynyt CERNin ISR-törmäyttimen sulkemisen yhteydessä. Nyt osa UA1-kollaboraatiosta (Aachen, CERN, Helsinki, Kiel, Madrid, UCLA, Serpuhov) yhdisti vielä rivinsä ja teki uuden ehdotuksen UA1-kokeen jatkamisesta 1990–1992. Pääargumenttina oli sinänsä vielä perusteltavissa ollut kilpailukyky CDF:n kanssa W-bosonin massan tarkkuusmittauksissa U-TMP-kalorimetrin avulla. Kalorimetrin rakentaminen oli kuitenkin vielä kesken. CERNin SPS-komitea ei ottanut koe-ehdotukseen selvää kantaa eikä CERNin johto ottanut sitä harkittavaksi. Helsingin SEFL-tutkimusryhmä oli tässä vaiheessa jo lähtenyt mukaan myös LHC-kokeiden suunnitteluun, joten toiminnan siirtyminen uusiin puitteisiin tapahtui kitkattomasti ja UA1-kokemusta hyödyntäen. UA1-kokeiden data-analyysi jatkui rinnakkaisena toimintana vielä 1990-luvun puoliväliin.

3.10. Helsingin ryhmä UA1-kokeen toisessa vaiheessa 1987–89 ja saavutetut tulokset

UA1-kokeen toisen vaiheen aikana SEFLin ryhmässä työskentelivät edelleen dos. Veikko Karimäki, FT Ritva Kinnunen, FT Martti Pimiä ja yliassistentti Jorma Tuominiemi SEFLiltä ja yliassistentti Esko Pietarinen Fysiikan laitokselta. Projektia tukivat teknisissä tehtävissä lab.ins. Tapio Vehviläinen ja atk-tehtävissä erikoistutkija Jaakko Mäkelä SEFLiltä. Projektissa työskenteli myös opiskelijoita, FK Timo Korhonen, yo. Jukka Neppius, yo. Tuomo Oksakivi ja yo. Jussi Vänskä Helsingin yliopistosta ja yo. Olav Tirkkonen TKK:sta. Fysiikan analyysissä jatkettiin yhteistyötä FT Juha Lindforsin (TFT) kanssa. SEFLin tutkimusryhmän vastuualueina olivat törmäysreaktioiden rekonstruktio ja fysiikan analyysi, tarvittavien tietokoneohjelmien ja -algoritmien kehitystyö, uudistetun koeaseman tiedonkeruu- ja kalorimetrilaitteiston rakentaminen, testaus ja ajojen valvonta. J. Tuominiemi toimi SPS-ajojen koordinaatioryhmän jäsenenä ja express-line graafisen analyysin koordinaattorina MEGATEK-asemalla, M. Pimiä ajon express-linjan vastuullisena koordinaattorina.

Helsingin ryhmä sai vähitellen vahvistettua laskentakapasiteettiaan Helsingissä. Sen käytettävissä oli jakson lopulla Fysiikan laskentatoimiston VAX-laitteisto, Opetusministeriön VAX 8650, sekä Helsingin yliopiston VAX 8800- ja 8300-koneet. Nämä edustivat uutta tietokonesukupolvea, niiden laskentateho oli toista suuruusluokka kuin pitkään palvelleen UNIVAC 1108. Suuria tuotantoajoja varten saatiin koneaikaa VTKK:n CRAY-tietokoneelta. Pääosa UA1-ohjelmistosta saatiin asennettua näihin koneisiin. Analyysiresurssien kehitystä kuvaa hyvin myös se, että törmäystapahtumien graafista analyysiä voitiin nyt tehdä Helsingissä APOLLO DN 3000-työasemalla. Laitteiden suunnittelua ja rakentamista varten oli UA1-projektin käytettävissä pieni mikroprosessorilaboratorio SEFLissä ja FL:ssa. Ensimmäinen modeemiyhteys SEFListä FLT:n VAX-laitteistoon saatiin toimintaan 27.2.1991.

UA-kokeiden toisessa vaiheessa vv. 1987–89 SPS-törmäyttimen luminositeetti oli parhaimmillaan $2x10^{30}$ $cm^{-2}s^{-1}$. UA1 keräsi dataa 4,6 pb^{-1} verran, yli kuusikertaisen määrän vv. 1983–85 kokeisiin verrattuna. Top-kvarkkia ei toisen vaiheen kokeissakaan löydetty, kandidaattieventit voitiin selittää taustareaktioiden avulla. Top-kvarkin tuottovaikutusalalle saatiin edelleen vain yläraja. Kvarkin massan alarajaksi saatiin tästä 60 GeV (95 % luotettavuustasolla). Teoreettiset arviot top-kvarkin tuoton vai-

TMP-ionisaatiolaskurit

Uuden kalorimetrin ionisaatiolaskurin nesteen, tetrametyylipentaanin, oli oltava äärimmäisen puhdasta. CERNiin hankittiin teollisuudesta laitteisto, jolla teollisuudelta ostetun nesteen puhtautta voitiin mitata hyvin tarkasti. Laitteen käyttöönotossa ja tehdyissä mittauksissa työskenteli CERNissä SEFLin kesäopiskelijana DI Olav Tirkkonen, joka antoi työhön merkittävän panoksen. Tirkkonen kunnostautui sittemmin teoreettisessa fysiikassa.

kutusalalle olivat tarkentuneet merkittävästi 1980-luvun alkupuolen QCD-laskuista. UA2-kokeen vastaava mittaus antoi alarajaksi 67 GeV. Myös CDF-koe Tevatronilla oli jo aloittanut top-kvarkin etsinnän 1,8 TeV:n energialla ja saanut top-kvarkin alarajaksi 77 GeV/c^2. Mutta tästäkin oli vielä pitkä matka top-kvarkin löytymiseen CDF-kokeessa v. 1995.

UA1:ssä yritettiin top-kvarkin metsästyksen yhteydessä etsiä myös sähkövarauksellista Higgsin hiukkasta ($H^{\pm}$) sen tau-leptoni-neutrino -hajoamisia etsimällä. Tutkimusten tuloksena voitiin asettaa top-kvarkin massalle alaraja $H^{\pm}$:n massan funktiona. Poissuljettu alue ulottui top-kvarkin massasta aina 61 GeV:hen ja Higgsin hiukkasen massassa 47 GeV:hen saakka, kun käytettiin 95 % luotettavuustasoa.

Muita tuloksia olivat b-kvarkin tuottovaikutusalan ja sen poikittaisliikemäärän jakautuman mittaus, W-bosonin massapiikin leveyden entistä tarkempi mittaus ja J/ψ-mesonien tuottovaikutusalojen mittaus. Edelleen tehtiin ensimmäinen havainto neutraalien B- ja antiB -mesonitilojen sekoittumisesta ja löydettiin uusi Λ-baryoni, jossa yksi valenssikvarkeista on b-kvarkki. Signaali löytyi hajoamismoodeista Λ_b -> J/ψ + Λ. Toisen vaiheen tulosten analysointi jatkui aina 1990-luvun puolelle. UA1-kokeen viimeinen julkaisu on vuodelta 1996, se koski vahvan vuorovaikutuksen kytkentävakion (α_s) mittausta.

Osa UA1-instituuteista (CERN, Helsinki, Madrid, MIT, Wien) teki vielä vuosina 1990–94 minimum bias -reaktioiden tutkimusta. Tässä data-aineistona olivat törmäystapahtumat, joissa liipaisuna oli pelkästään epäelastisen törmäyksen vaatiminen. Tutkimukseen tarkoitettu aineisto oli otettu vuoden 1987 aikana. Sen avulla kartoitettiin pienen poikittaisliikemäärän protoni-antiprotoni-törmäysten ominaisuuksia laajasti ja verrattiin niitä esitettyihin fenomenologisiin malleihin. Tulokset julkaistiin v. 1995.

3.11. UA1-kokeiden rahoitus Suomessa

Ensimmäinen vaihe 1979–1985

UA1-kokeen ensimmäisessä vaiheessa Hiukkasfysiikan komitea tuki SEFLin projektia seuraavasti:

	Matkakustannukset FIM	Tutkijat CERNissä FIM
1979	10 000	84 000 (8 kk)
1980	10 000	280 000 (24 kk)
1981	51 000	240 000 (25 kk)
1982	115 000	110 000 (10 kk)
1983	149 000	120 000 (9kk)
1984	177 000	120 000 (9 kk)
1985	169 000	128 000 (9 k)

Hiukkasfysiikan komitean puheenjohtajana vv. 1976–1982 toimi professori Keijo Kajantie Helsingin yliopistosta ja vv. 1983–1985 professori Rauno Hämäläinen Joensuun yliopistosta.

Hiukkasfysiikan määrärahojen lisäksi tukea saatiin CERNistä Paid Research Associate-pesteinä ja Suomen Akatemian vanhemman tutkijan apurahana CERNissä työskentelyä varten:

	CERN (Paid Research Associate)	Suomen Akatemia (vanhempi tutkija)
1979	6 kk	
1980	13 kk	
1981	16 kk	
1982	7 kk	
1983	9 kk	12 kk
1984	11 kk	

Laitteistokustannuksiin Suomen Akatemia myönsi tukea Hiukkasfysiikan komitean budjetin kautta 370 000 mk v. 1983, 340 000 mk v. 1984 ja 400 000 mk v. 1985. Tässä ei ole eritelty Helsingin yliopiston laitosbudjetin kautta tulleita UA1-projektin henkilökunnan palkkamenoja, jotka tietysti muodostivat tärkeän osan koko tutkimushankkeen rahoituksesta.

Toinen vaihe 1987–1989

UA1-kokeen toinen vaihe toteutettiin 1987–1989. Vuonna 1984 aloitettu DELPHI-projekti alkoi vaatia merkittäviä määrärahoja vuodesta 1985 lähtien. Suomessa UA1:n toisen vaiheen rahoitus tuli ongelmalliseksi, koska siihenkin tarvittiin vielä merkittävää laiterahoitustukea. SEFLin osuus toisen vaiheen laitteistoparannusten rahoituksesta oli n. 300 000 mk. SEFLin johto asetti luonnollisesti DELPHin rahoituksen varmistamisen etusijalle ja UA1:n tuki näytti mahdottomalle. Tilanne kiristi ajoittain huolestuttavasti Hiukkasfysiikan komitean kokousten ilmapiiriä. Sinänsä kyseessä oli tilanne, joka on alalla hyvin tuttu: suuret ja pitkäaikaiset vanhat ja uudet kokeelliset projektit menevät tietyssä vaiheessa päällekkäin, ja ne on voitava porrastaa niin, että itse hiukkasfysiikan tutkimuksen jatkuvuus säilyy. Tämä synnyttää väistämättä kilpailua ja kädenvääntöä määrärahoista. Porrastus on vain koetettava hoitaa hallitusti ja tutkimuksen kokonaisuutta ajatellen.

UA1:n rahoituksessa apuun tuli onneksi Helsingin yliopiston konsistori, joka oli avannut uuden tutkimusrahoitusohjelman. Yliopistolle oli perustettu v. 1984 tutkimusrahasto lähinnä laajahkojen monivuotisten hankkeiden rahoittamiseen. Tutkimusrahaston määrärahojen jaosta esitykset yliopiston pienelle konsistorille teki kolmijäseninen toimikunta, jonka puheenjohtajana toimi vararehtori Risto Ihamuotila. Toimikunta valitsi hankkeet pelkästään niiden tieteellisen merkittävyyden ja tutkimussuunnitelmien tason perusteel-

la, poikkeuksellisesti ilman tiedekuntakohtaisia kiintiöitä. Päätös ensimmäisten laajojen hankkeiden rahoittamiseksi tehtiin syksyllä 1985. SEFLin UA1-projekti haki rahoitusta tästä rahastosta v. 1986 lähtien ja sille myönnettiin määrärahoja vv. 1986–90. Tukea anottiin matkakulujen rahoittamiseksi, mikä teki mahdolliseksi Suomen Akatemian myöntämien varojen kohdistamisen laitekuluihin. Ihamuotilan toimikunnan tuki oli ratkaisevan tärkeä. Kuten edellä jo todettiin, on vielä muistettava, että yliopisto tuki UA1-projektia matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan osoittamien SEFLin henkilökuntakulujen ja laitosmäärärahan kautta, mikä muodosti suuren osan projektin kokonaiskustannuksista.

Näin UA1-kokeen toisen vaiheen rahoitus muodostui kahtena ensimmäisenä vuonna seuraavasti:

	Hiukkasfysiikan Komitea (FIM)	Helsingin yliopiston tutkimusrahasto (FIM)
1986	145 000	100 000
1987	147 000	150 000

Hiukkasfysiikan komitea (HiKo) myönsi lisäksi 220 000 mk toisen vaiheen tiedonkeruujärjestelmän kehittämiseen v. 1986 ja 65 000 v. 1987. Hiukkasfysiikan komitean puheenjohtajana vv. 1986–1988 toimi apul.professori Jorma Hattula Jyväskylän yliopistosta.

Vuoden 1988 keväällä Akatemian Luonnontieteellinen toimikunta päätti, että suurten kokeellisten projektien (DELPHI, UA1) määrärahat jaetaan suoraan Luonnontieteellisen toimikunnan toimesta muun toiminnan jäädessä edelleen Hiukkasfysiikan komitean harkittavaksi. Käytännössä DELPHI- ja UA1 -määrärahat kanavoitiin edelleen Hiukkasfysiikan komitean kautta, mutta päätökset teki Luonnontieteellinen toimikunta ja raportointi oli tehtävä suoraan Suomen Akatemialle. Seuraavassa taulukossa SA:n myöntämä määräraha sisältää matka- ja oleskelukulujen lisäksi laitekulut. Kun Suurenergiafysiikan tutkimuslaitos SEFT perustettiin v. 1990, alettiin SA:n tutkimusmäärärahat kanavoida sen kautta. Helsingin yliopisto jatkoi edelleen tukeaan UA1:n matkakustannuksiin 1988–89. Näin tuki UA1-kokeen toiselle vaiheelle vv. 1988–1990 muodostui kokonaisuudessaan seuraavaksi:

	Suomen Akatemia (FIM)	Helsingin yliopiston tutkimusrahasto (FIM)	SEFT (FIM)
1988	170 000	170 000	
1989	280 000	80 000	
1990	43 000		125 000

Lisäksi CERN tuki Helsingin ryhmää 7 kk oleskelukuluilla v. 1988 ja Suomen Akatemia myönsi varttuneen tutkijan apurahan UA1-kokeessa työskente-

lyä varten J. Tuominiemelle v. 1989. Tutkijoiden palkkaus tuli koko ajan SEFL:lta, samoin sen laitosmäärärahasta voitiin maksaa pienempiä laite- ja materiaalihankintoja.

UA1-kokeen toisen vaiheen rahoitus oli vaikeaa, kun SEFLin DELPHI-projekti uutena ja suurempana hankkeena vaati kasvavaa panostusta. Suomessa kuitenkin ymmärrettiin UA1-hankkeen tutkimuksellinen merkitys, joten erilaisin osaratkaisuin riittävä rahoitus saatiin koottua. Loppujen lopuksi rahoitusta saatiin kuten 14.10.1983 tehdyssä muistiossa oli esitetty vuosille 1984–1987. SEFLin ryhmä pystyi osallistumaan toiseen vaiheeseen suunnitelmien mukaisesti ja merkittävällä panoksella top-kvarkin etsintään.

CIA SEFLillä

Elokuun 14. Päivänä 1987 puheilleni Suurenergiafysiikan laitokselle Siltavuorenpenkereellä ilmaantui amerikkalainen herrasmies nimeltään Aloisius Kracklauer, joka esittäytyi minulle Yhdysvaltain tiedustelupalvelun (CIA) virkailijana. Hän antoi käyntikorttinsa ja halusi keskustella kanssani tutkimusyhteistyöstämme Dubnan tutkimuslaitoksen kanssa.

Olin hieman pihalla aluksi, mutta ymmärsin pian, että kysymyksessä oli tiedustelu siitä, onko Suurenergiafysiikan laitos sotkeutunut VAX-tietokoneiden tai sen osien toimittamiseen Neuvostoliittoon. VAX-koneet olivat tuolloin Yhdysvaltain embargo-listalla. Kracklauer kyseli tutkimustyöstämme yleisesti ja kontakteista Dubnaan ja myös CERNiin, mutta eksplisiittisesti embargo-asioista ei puhuttu.

Sitten lokakuussa Kracklauer kutsui minut vaimoineni luokseen illalliselle. Menimme 20.10. illalla Käpylään, jossa hän vuokrasi suurta omakotitaloa. Vieraina oli myös Rauma Repolan Mir-sukellusveneiden suunnitteluun osallistuneen insinööritoimiston toinen omistaja DI Malmari vaimoineen sekä Adams-niminen amerikkalainen pariskunta. Illallinen oli suurenmoinen ja keskustelut mielenkiintoisia. Niissä ei kuitenkaan suoraan käsitelty Neuvostoliittoon vietävää huipputeknologiaa – ainakaan muistini mukaan.

Kracklauer oli tyylikkäästi käyttäytyvä ja miellyttävä henkilö, ja juttelin hänen kanssaan maailmanpolitiikastakin useaan otteeseen Siltavuorenpenkereellä.

Kun kerroin siirtyväni CERNiin vuodeksi 1988–89, hän kertoi seuraavan asemapaikkansa vuonna 1989 olevan myös Geneve. Keväällä 1988 häntä ei enää näkynyt Siltavuorenpenkereellä juurikaan, eikä hän ottanut minuun yhteyttä Genevessäkään.

Tämä episodi muistui mieleeni, kun Rauma-Repolan entinen toimitusjohtaja Tauno Matomäki kertoi jo eläkkeellä ollessaan julkisuudessa Mir-sukellusveneisiin liittyvästä yhtiöön kohdistuneesta amerikkalaisten painostuksesta. VAX-tietokoneiden osalta en ole huomannut mitään keskustelua olleen jälkeenpäin. Mehän emme olleet sotkeutuneet mihinkään, mihin amerikkalaiset olisivat voineet puuttua Dubnan tutkimuslaitoksen kanssa harjoitetussa yhteistyössä.

Mielenkiintoista kyllä, saman vuoden 22.10. saimme vieraita Suposta. Siponen niminen virkailija kävi vierailulla SEFL:lla. Hiljainen mies, kävi tapaamassa ryhmämme jäseniä. Esittelin hänelle CERNin kanssa teleprintteriviestein tehtyä yhteydenpitoa. En kuullut asiasta sittemmin.

3.12. CERNin LEP-projekti alkaa v. 1981

SPS-kiihdyttimen käynnistyttyä v. 1985 tuli CERNissä ajankohtaiseksi aloittaa seuraavan sukupolven kiihdyttimen suunnittelu. Useita kiihdytinvaihtoehtoja tutkittiin rinnakkain, ehdolla olivat mm. protoni-protoni-törmäytin, elektroni-protoni -törmäytin ja elektroni-positroni -törmäytin. Lopulta päädyttiin suureen elektroni-positroni-törmäyttimeen, jonka kaavailuja oli CERNissä aloiteltu jo 1975. Yhtenä perusteluna tälle päätökselle oli, että odotettiin SPS-törmäyttimen löytävän GWS-teorian ennustamat W- ja Z-bosonit, joiden ominaisuuksien tarkempi tutkimus voitaisiin sitten parhaiten tehdä elektroni-positroni-törmäyksissä. Tällöinhän on kysymys standardimallin kahden alkeishiukkasen törmäyksestä toisin kuin hadronitörmäyksissä, joissa törmäävät hiukkaset ovat alkeishiukkasista (kvarkeista ja gluoneista) koostuvia komposiittihiukkasia. Elektroni-positroni-törmäykset ovat siksi yksinkertaisempia tulkita ja mittauksissa voidaan päästä suurempiin tarkkuuksiin.

Large Electron Positron (LEP) Collider -törmäyttimen rakentamisesta päätettiin v. 1981 lokakuun 30 päivänä pidetyssä CERNin Neuvoston istunnossa. Suihkujen energiaksi kiinnitettiin aluksi 50 GeV, joka riittäisi GWS-teorian mukaisten Z^0-välibosonien tuottamiseen. Tähtäimeksi asetettiin myös törmäysenergian kasvattaminen myöhemmin niin suureksi, että voitaisiin tutkia W-bosonien ominaisuuksia, joita oli tuotettava pareittain. LEP:n rakennuspäätös tehtiin siis ennen kuin välibosonit oli löydetty SPS-törmäyttimellä. GWS-teoria oli jo näin vahvoilla 70-luvun kokeiden tulosten perusteella.

LEP-törmäytin on synkrotroni, jonka renkaan ympärysmitta on 27 km. Koska elektronit ja positronit ovat toistensa antihiukkasia, voidaan niitä molempia kiihdyttää samassa synkrotronissa aivan kuten protoneja ja antiprotoneja SPS-törmäyttimessä. Elektroni-positroni-törmäyttimiä oli rakennettu jo 1960-luvulta lähtien, joten tarvittava teknologia oli olemassa. LEP-törmäytintä varten kaivettiin tunneli CERNin alueen kylkeen niin, että CERNin olemassa olevia kiihdyttimiä (siis myös SPS-synkrotronia) voitiin käyttää esikiihdyttiminä. LEP-törmäyttimen parametrit kiinnitettiin CERNin ja ECFAn järjestämissä seminaareissa ja työkokouksissa vuosina 1978–79.

Elektronien pienen massan vuoksi synkrotronisäteily on tärkeä ilmiö elektronisynkrotronien kokoa kiinnitettäessä. Synkrotronisäteilyn aiheuttama energiahäviö ja siten hiukkasten kiihdyttämiseen tarvittavan RF-laitteiston kustannukset ovat kääntäen verrannollisia rengaskiihdyttimen ympärysmittaan. Toisaalta taivutusmagneettien kustannukset ovat ympärysmittaan suoraan verrannollisia. Oli haettava taloudellinen optimi laitteen koolle. Kun energian ylärajaksi kiinnitettiin 200 GeV, optimi löytyi ympärysmitaltaan 27 km renkaalle, kun käytettiin klassisia huoneenlämpöisiä magneetteja ja kiihdytinonteloita. LEP-synkrotroni koostui 5176 magneetista ja 128 kiihdytinontelosta. Taivutusmagneettien magneettikentän voimakkuus on 1,7 T. Tällainen rengastunneli mahtui vielä Geneven lentokentän ja Jura-vuoriston väliin.

ECFA

ECFA, European Committee for Accelerators, on alan tutkimuksessa aktiivisista eurooppalaisista hiukkasfyysikoista koostuva asiantuntijaelin, jonka tehtävänä on tarkastella Euroopassa harjoitettavan hiukkasfysiikan tutkimuksen suunnitelmia ja tehdä aloitteita koskien hiukkaskiihdyttimiä, tutkimuslaitoksia sekä suuria tutkimuslaitteistoja. ECFA antaa niiden toteuttamisesta suosituksia CERNin johdolle, CERNin neuvostolle ja sen komiteoille, muille tieteellisille organisaatioille, sekä jäsenmaiden tiedehallinnoille. ECFA perustettiin v. 1963 CERNin silloisen pääjohtajan, professori Victor Weisskopfin ja CERNin Scientific Policy-komitean puheenjohtajan, professori Cecil Powellin aloitteesta.

Plenary ECFA nimittää jäsenikseen tutkijoita jäsenmaiden ehdotuksesta, 2–10 jäsentä enintään kuudeksi vuodeksi. Vaikka jäsenien edellytetään edustavan kotimaansa hiukkasfysiikan yhteisöä ja sen näkemyksiä, he ovat Plenary ECFAn jäseniä itsenäisinä tutkijoina. Plenary ECFA kokoontuu kahdesti vuodessa. ECFAn johtoryhmä, Restricted ECFA, avustaa ECFAn puheenjohtajaa ja sihteeriä ECFAn toiminnassa, ja toimii kommunikaatioelimenä jäsenmaihin, niiden hiukkasfysiikan yhteisöön, kansallisiin instituutteihin ja tiedehallintoon. RECFA tekee säännöllisiä vierailuja (ns. maavierailuja) CERNin jäsenmaihin, tutustuu hiukkasfysiikan tutkimukseen ko. maassa ja antaa suosituksia sen tiedehallinnolle alan kehittämiseksi. RECFA koostuu yhdestä Plenary ECFA:n jäsenestä per jäsenmaa, jäsen valitaan korkeintaan kahdeksi kolmivuotiskaudeksi.

ECFA järjestää säännöllisesti asiantuntijakonferensseja, symposiumeja ja työryhmiä käsittelemään alalla tapahtuvaa kehitystä ja antaa siitä lausuntoja. ECFAn merkitys hiukkasfysiikan tutkimuksen kehittämisessä ja organisoinnissa Euroopassa vakiintui 1970-luvun lopulla CERNin uutta kiihdytintä suunniteltaessa ja se on ollut sittemmin aktiivinen toimija yhdessä Euroopan fyysikkoseuran Hiukkasfysiikan jaoston kanssa.

LEP-hankkeen kustannusarvio oli 910 miljoonaa Sveitsin frangia. Uutta CERNin aikaisempien kiihdyttimien rakentamiseen verrattuna oli, että se toteutettiin CERNin vuosibudjetin puitteissa ilman lisämäärärahoja. Samassa Neuvoston kokouksessa CERNin vuosibudjetti jäädytettiin 617 milj. frangiin, mikä heijasteli Euroopan tuolloista vaikeaa taloudellista tilannetta. Toisaalta rakennuspäätös osoitti, että Euroopassa luotettiin edelleen laajalti perustutkimuksen merkitykseen. Tunnelin kaivaustöiden alkua juhlistettiin 13.9.1983 tilaisuudessa, johon Ranskan presidentti Francois Mitterrand ja Sveitsin presidentti Pierre Aubert osallistuivat.

Tunnelin kaivuutyöt veivät vuosia. Samalla oli aikaa rakentaa koeasemat törmäyttimen yhteyteen. Rakennustyöt sujuivat suunnitelmien mukaisesti ja ensimmäiset elektroni-positroni -törmäykset saatiin aikaan 13.8.1989. Ensimmäiset Z^0-bosonien tuottoreaktiot rekisteröitiin heti kaikilla neljällä koeasemalla. DELPHI-kokeessa kerättiin vv. 1989–1991 yli 400 000 Z^0-bosonin hajoamistapausta. Määrä oli aivan toista suuruusluokkaa kuin SPS-törmäytinkokeissa. Nyt voitiin tehdä tarkkuusmittauksia Z^0-bosonien ominaisuuksista ja niiden hajoamisprosesseista ja testata tarkasti srandardimallin pätevyyttä.

LEPin ympyrätunnelin paikka merkittynä ilmakuvaan yhtenäisellä viivalla. Kokeiden sijoituspaikat tunnelin yhteydessä on merkitty valkoisilla palloilla. Edessä Geneven lentokenttä, CERNin Meyrinin laboratorion alue sijaitsee lentokentän vasemmasta päästä yläoikealla. Taustalla Jura-vuoristo. Katkoviiva esittää Sveitsin ja Ranskan rajaa. (Kuva CERN)

LEP-törmäytin tunnelissaan. Ruskeat elementit ovat taivutusmagneetteja, sininen kvadrupoolimagneetti. (Kuva CERN).

Synkrotronisäteily hiukkaskiihdyttimillä

Synkrotronisäteily syntyy, kun sähkövarauksellinen hiukkanen liikkuu magneettikentässä, jolloin sen rata kaartuu. Tällöin hiukkanen säteilee pois liike-energiaansa. Säteilyn suunta on liikeradan tangentin suuntaan.

Synkrotronisäteilyn voimakkuus, sen aiheuttama energiahäviö, on suoraan verrannollinen magneettikentässä liikkuvan sähkövarauksellisen hiukkasen energian neljänteen potenssiin ja kääntäen verrannollinen hiukkasen massan neljänteen potenssiin sekä hiukkasen kulkeman radan kaarevuussäteen suuruuteen. LEP:n kokoiselle elektronikiihdyttimelle se on käytännössä merkittävä jo 100 GeV:n energioilla. Saman kokoiselle protonikiihdyttimelle (kuten LHC) se on vain sadasmiljoonasosa elektronikiihdyttimen synkrotronisäteilyn intensiteetistä.

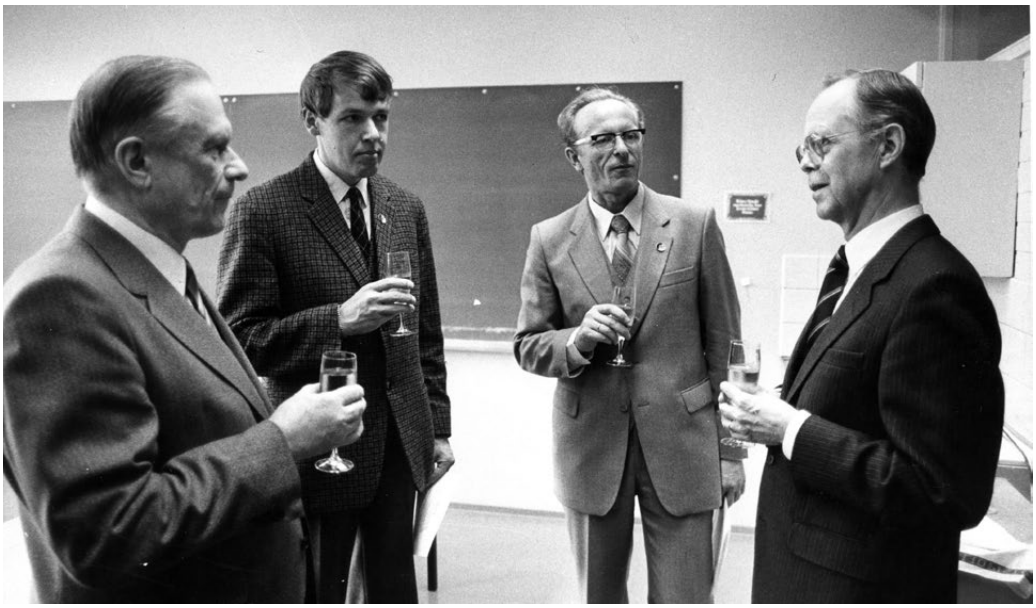
3.13. SEFLin liittyminen LEP-projektiin v. 1984

Heti LEPin rakentamispäätöksen jälkeen CERNille tehtiin neljä ehdotusta koeasemista törmäyttimen yhteyteen. Tässä vaiheessa oli myös Suomessa harkittava, miten mennä mukaan LEP-projektiin, joka 1990-luvulla olisi johtava aineen perusrakenteen tutkimushanke Euroopassa. Varsin nopeasti päädyttiin selvittämään osallistumista DELPHI-projektiin (A Detector with Lepton, Photon and Hadron Identification, Letter of Intent 31.12.1982), joka näytti suomalaisten tutkijoiden joukossa mielenkiintoisimmalta. Epäviralliset yhteydenotot DELPHIn puhemieheen, professori Ugo Amaldiin (Milanon yliopisto) saivat positiivisen vastaanoton ja syksyllä 1983 SEFLin esimies, professori Paul Hoyer otti virallisesti yhteyttä Amaldiin ja ehdotti liittymisneuvottelujen avaamista. Tätä varten perustettiin SEFL:een uusi tutkimusprojekti, jonka johtoon professori Hoyer nimitti dosentti Risto Oravan, joka oli juuri palannut Yhdysvalloista Fermilabista, jossa hän oli ollut Robert R. Wilson Fellow -stipendiaattina. SEFL tarjosi DELPHI-kokeeseen kontribuutiota sen hadronikalorimetrin signaalinlukuelektroniikan suunnitteluun ja rakentamiseen. DELPHI-kollaboraatio oli kiinnostunut kuitenkin laajemmasta yhteistyöstä ja esitti SEFL:lle keskeistä roolia DELPHIn hadronikalorimetrin suunnittelussa ja rakentamisessa yhteistyössä neuvostoliittolaisen Serpuhovin (IHEP) ja Dubnan (JINR) laboratorioiden sekä Rooman Sapienza-yliopiston kanssa.

LEP-kokeiden pitkäjänteisyyden ja suurten kustannusten vuoksi CERN päätti solmia muodolliset yhteistyösopimukset suoraan LEP-kokeiden osanottajalaboratorioiden rahoittajaviranomaisten kanssa. Tämä oli uutta CERNin kokeiden historiassa. Menettelyä ajoi erityisesti CERNin silloinen tutkimusjohtaja professori Lorenzo Foá. Menettelyä on jatkettu LHC-kokeissa. Suomen puolelta DELPHI-kokeen ”Instrument of Understanding”-sopimuksen allekirjoittivat 15.10.1984 Hiukkasfysiikan komitean puheenjohtaja professori Rauno Hämäläinen (Joensuun yliopisto) ja SEFLin esimies professori Hoyer.

Koeasemat LEP-törmäyttimellä olivat suurempia kuin UA-kokeissa, niiden rakentamiseen ja operointiin tarvittiin enemmän insinöörejä ja fyysikoita. DELPHI-kollaboraatioiden koko kasvoi heti alkuun puoleen tuhanteen henkilöön. UA-kokeissa osallistujia oli ollut aluksi toistasataa. DELPHIn osallistujalaboratoriot olivat CERNin ja Suomen lisäksi Belgiasta, Britanniasta, Espanjasta, Hollannista, Italiasta, Itävallasta, Kreikasta, Neuvostoliitosta, Norjasta, Puolasta, Ranskasta, Ruotsista, Saksasta, Tanskasta ja Yhdysvalloista. Instrument of Understanding -asiakirjassa Suomen osalta oli listattu viisi tutkijaa: FM Rauno Lauhakangas, FT Petri Laurikainen, dos. Risto Orava (projektin johtaja, DELPHI-kontaktihenkilö), FT Heimo Saarikko ja FT Esa Riipinen.

Suomen yhteistyöstä Dubnan tutkimuslaitoksen kanssa DELPHI-ilmaisimen rakentamisessa allekirjoitettiin protokolla v. 1984. Siihen liittyen



Kuva Serpuhovin kiihdytinkeskuksen ja SEFLin välisen yhteistyösopimuksen allekirjoitustilaisuudesta SEFLissä 30.9.1985. Kuvassa vasemmalta SEFLin pitkäaikainen esimies, emeritusprofessori K.V. Laurikainen, SEFLin tuolloinen esimies, professori Paul Hoyer, IHEP:n johtaja, professori L.D. Soloviev ja Helsingin yliopiston rehtori, professori Olli Lehto. Samana päivänä juhlistettiin myös SEFLin 25-vuotistaivalta. (Kuva Helsingin yliopisto)

SEFL allekirjoitti myös Serpuhovin kiihdytinkeskuksen (IHEP) kanssa yksityiskohtaisen työsuunnitelman tutkijanvaihdosta ja hadronikalorimetrin osien prototyyppien testikokeista Serpuhovin 76 GeV:n protonisynkrotronilla (U-70). Työsuunnitelman allekirjoittivat 30.9.1985 SEFLin puolesta professori Paul Hoyer ja IHEP:n puolesta sen pääjohtaja, professori L.D. Soloviev. Yhteistyöprojekti oli jo niin laaja, että se vahvistettiin muodollisesti myös Suomen ja Neuvostoliiton tieteellis-teknisen yhteistoimintakomitean pöytäkirjassa, joka allekirjoitettiin Helsingissä 17.9.1985.

SEFLin DELPHI-ryhmä aloitti hadronikalorimetrin tiedonkeruujärjestelmän suunnittelun v. 1984. Projekti pääsi hyvin alkuun. DELPHI-kokeen hadronikalorimetrin ilmaisimiksi oli valittu soihtukammiomoodissa toimivat kaasudetektorit (limited streamer -tekniikka). Osoittautui, että suomalainen muoviteollisuus pystyi valmistamaan ilmaisimiin tarvittavia muoviosia vaaditulla tarkkuudella. SEFLin DELPHI-ryhmä ryhtyi tutkimaan kaasuilmaisintekniikkaa ja kehittämään kokeeseen tarvittavia soihtuilmaisimia. Laitokselle perustettiin infrastruktuuri laitekehitystä varten. Toiminta laajeni nopeasti ja sille hankittiin v. 1987 uudet tilat Otaniemeen juuri perustettuun Otaniemen teknologiakylään. Tämä tapahtui kokonaan Valtion teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksen Tekesin tuella. SEFLissä ei tarvittavia resursseja ollut.

Helsingin yliopiston johtoa tutustumassa DELPHI-kokeeseen CERNissä elokuussa 1990. Esittelijänä DELPHIn tekniikkakoordinaattori Dr. Hans Jürgen Hilke, hänestä oikealle dekaani Antti Siivola, SEFTin DELPHI-projektin johtaja, dos. Risto Orava, vararehtori Risto Ihamuotila, FM Camilla Rönnqvist, FT Tuure Tuuva ja dos. Heimo Saarikko. (Kuva CERN)

SEFL osallistui nyt ensimmäistä kertaa suuren hiukkaskokeen alidetektorin kehittämiseen ja rakentamiseen. Se merkitsi, että tarvittiin mukaan myös tekniikkaan orientoituneita fyysikoita ja insinöörejä. Samoin yhteydet teollisuuteen muodostuivat entistä merkittävämmäksi. DELPHI-projektiin saatiin uusia opiskelijoita Teknillisestä korkeakoulusta. Hadronikalorimetrin rakentaminen edellytti myös entistä suurempia määrärahoja. Tähän saatiin aluksi merkittävää tukea Tekesiltä. Sen avulla saatiin projekti käynnistettyä 1984–86, minkä jälkeen Suomen Akatemian osallistui rahoitukseen. Risto Orava sai koottua ympärilleen vahvan tutkija- ja insinööriryhmän ja DELPHI-kokeeseen osallistuminen käynnistyi hyvin.

Kun DELPHI-projektin myötä aloitettiin uusia ilmaisintekniikoita koskevaa tutkimusta, ryhdyttiin myös järjestämään sitä koskevaa opetusta. Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksen opetusohjelmaan liitettiin säännöllisenä opetusohjelmana ”Säteilyn ilmaisimet” -kurssi 1990-luvun alusta lähtien. Hiukkasfysiikan kurssit oli aloitettu vakituisena ohjelmana jo 1970-luvun alussa.

Vuonna 1987 DELPHI-projektissa työskenteli jo 17 jatko-opiskelijaa, joista TkT Pertti Aarnio, FM Paula Eerola ja DI Reino Keränen osallistuivat DELPHI-kokeen fysiikan simulointiin, DI Markku Ellilä, FM Kari Kurvinen,

FM Markus Nordberg ja FT Risto Orava esittelevät DELPHI-koeaseman hadronikalorimetrin prototyyppitestaukseen käytettyä laitteistoa SEFLin ilmaisinlaboratoriossa Siltavuorenpenkereellä. (Kuva SEFL)

DI Mikko Laakso, FM Rauno Lauhakangas, FM Markus Nordberg, FM Tuure Tuuva ja FM Martti Voutilainen DELPHIn hadronikalorimetrin suunnitteluun ja rakentamiseen. DELPHI-julkaisut allekirjoittivat SEFListä aluksi TkT P. Aarnio, DI M. Ellilä, FM R. Lauhakangas, dos. R. Orava, dos. H. Saarikko ja FM M. Voutilainen.

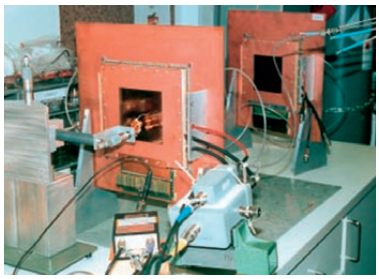
Suomessa valmistetut 20 000 tarkkuusmuoviosaa soihtuilmaisinmoduleihin toimitettiin CERNiin 1986–87. Signaalinlukuelektroniikka ja tiedonkeruujärjestelmä asennettiin DELPHI-koeasemaan vv. 1988–89. Hankkeen rahoitus hoidettiin Tekes-yhteistyössä. Aiheesta valmistui kaksi väitöskirjaa, DI Markku Ellilä väitteli aiheesta ”On the performance of the DELPHI Hadron calorimeter” (Acta Physica Scandinavica, Applied Physics series 159) TKK:lla v. 1989, ja Martti Voutilainen Helsingin yliopistossa toukokuussa 1991 aiheesta ”DELPHI Hadron Calorimeter Control Electronics” (SEFT Report Series 1991–08). Ellilä siirtyi teollisuuden palvelukseen v. 1990.

Puolijohteisiin perustuvat ilmaisimet olivat 1980-luvun aikana nousseet mielenkiinnon ja kehittelyn kohteeksi hiukkasfysiikan kokeissa, aluksi varsinkin verteksidetektoreita suunniteltaessa. Verteksiratailmaisimissa detektoreista kootut rakenteet sijoitetaan useina sylinterimäisinä kerroksina mahdollisimman lähelle törmäyspistettä. Näin voidaan mitata hyvin ly-

hytikäisten hiukkasten, kuten B-hiukkasten ja tau-leptonien hajoamispiste. DELPHI-kokeeseen asennettiin v. 1989 kaksikerroksinen verteksi-pii-ilmaisin ja v. 1991 siihen saatiin lisättyä kolmas kerros. SEFLin DELPHI-ryhmä aloitti samalla R&D-ohjelman piinauhailmaisimien kehittämiseksi. Tässä VTT oli merkittävä yhteistyökumppani, koska sillä oli teknistä osaamista ja ajanmukaiset laitteet pii-ilmaisimien valmistukseen. SEFT työskenteli myös yhteistyössä CERNin puolijohdeilmaisin-ryhmän kanssa pii-ilmaisimien suunnittelussa ja testaamisessa CERNissä. Vuonna 1990 SEFL/SEFTin DELPHI-ryhmä sai omat nauhailmaisimien testauslaitteet ja pystyi osallistumaan DELPHIn verteksi-ilmaisinprojektiin. Kolmasosa tarvituista kaksipuolisista piinauhailmaisin-moduleista valmistettiin VTT:llä. Projektiin osallistui myös Åbo Akademi, josta olivat mukana FM Richard Brenner, FM Camilla Rönnqvist, FL Erik Sundell ja FM Kenneth Österberg. CERNin H2-suihkun yhteyteen rakennettiin VTT:n valmistamista piinauhailmaisimista hiukkassuihkun suuntaa mittaava beam-teleskooppi. Sitä käytettiin myöhemmin myös testisuihkun hiukkasten ratojen mittaamiseen RD5-kokeessa.

Pii-ilmaisimien kehittelystä syntyi useita väitöskirjoja. Tuure Tuuva väitteli Helsingin yliopistossa aiheesta ”Silicon strip detectors with VLSI readout” 26.4.1990 (HUP-P-D54), DI Jukka Lindgren TKK:lla aiheesta ”On the development of the Microvertex detector for DELPHI” 11.12.1992 (SEFT-1992-07), DI Mikko Laakso TKK:lla aiheesta ”Radiation detection techniques for high energy physics and industrial applications” (SEFT RD 1992-01) v. 1993, FM Camilla Rönnqvist Helsingin yliopistossa 30.6.1995 aiheesta ”Silicon Microstrip Detectors for Imaging Applications” (SEFT-1995-03), FM Richard Brenner Åbo Akademissa aiheesta ”Aspects of the DELPHI Vertex Detector and the Future Silicon Trackers at LHC” 20.11.1996 (SEFT-1996-26) ja FM Panu Jalas Helsingin yliopistossa aiheesta ”Energy Dispersive X-ray Detectors with Planar Processing Technology” 6.7.1996 (SEFT 1996-12).

Myös kaasutäytteisten ilmaisimien kehitystyö aloitettiin SEFT:ssa. Useissa hiukkasfysiikan laboratorioissa eri puolilla maailmaa oli alettu tutkia mikronauha-kaasuilmaisimia (Microstrip gas chambers, MSGC), jotka olivat lupaava vaihtoehto hiukkasten ratojen mittauksessa suuren hiukkassäteilyn olosuhteissa. Kaasutäytteisten ilmaisimien kehitystyöstä muodostui pitkäaikainen tutkimuslinja suomalaisessa hiukkasilmaisimien rakentamisessa.

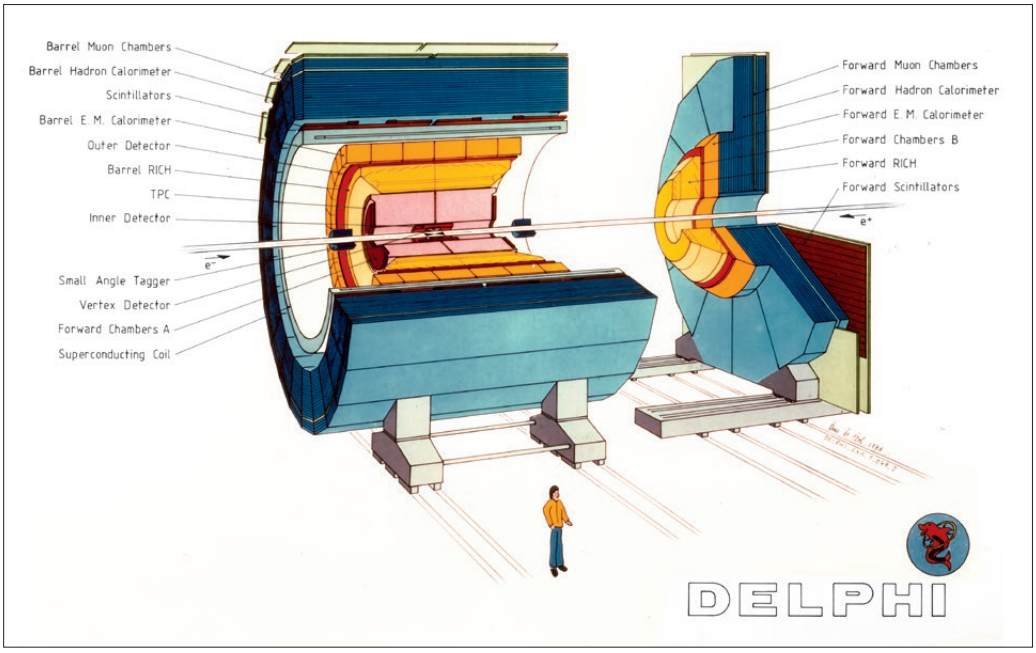


Gas Electron Multiplier (GEM) -detektorien testausta SEFTin detektorilaboratoriossa Innopolissa 1990-luvulla. (Kuva SEFT)

DELPHI-kokeen käynnistämiseen osallistuneista insinööreistä ja fyysikoista Panu Jalas, Mikko Laakso, Jukka Lindgren, Camilla Rönnqvist ja Martti Voutilainen siirtyivät teollisuuden palvelukseen 90-luvun puoliväliin mennessä. Richard Brenner toimi CERN Fellow-stipendiaattina vv. 1991–1994, minkä jälkeen hän siirtyi Uppsalan yliopistoon.

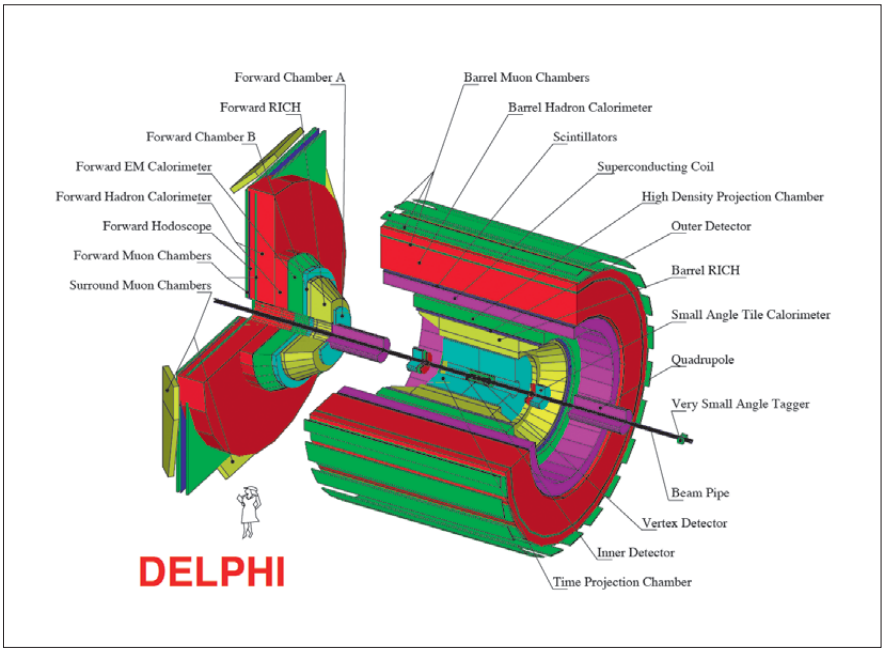
3.14. DELPHI-koeasema LEP-törmäyttimellä

LEP-törmäyttimelle rakennetut koeasemat (ALEPH, DELPHI, OPAL ja L3) olivat toisen sukupolven elektronisia, täyden avaruuskulman ilmaisinjärjestelmiä. Periaatteeltaan ne olivat samanlaisia kuin SPS-törmäyttimelle rakennettu UA1-koeasema, ne koostuivat keskusosien (barrel) sisäkkäisistä sylinterimäisistä ja päätyosien (endcap) peräkkäistä tasomaisista hiukkasilmaisinkerroksista. Päätyosat ulottuivat lähelle suihkuputkea, jolloin voitiin mitata törmäyksissä syntyneiden hiukkasten radat aivan pienille avaruuskulmille saakka. Kaikissa LEP-koeasemissa hiukkasten liikemäärän mittaamiseen tarvitut magneetit olivat solenoideja. Koeasemat olivat merkittävästi monimutkaisempia ja tehokkaampia kuin SPS-koeasemat, ilmaisinteknologia ja elektroniikka olivat ottaneet huimia kehitysaskeleita SPS-asemien rakentamisen jälkeen. DELPHI-koelaitteisto oli toimintavalmiina vuonna 1989, kun LEP-törmäytin käynnistettiin.



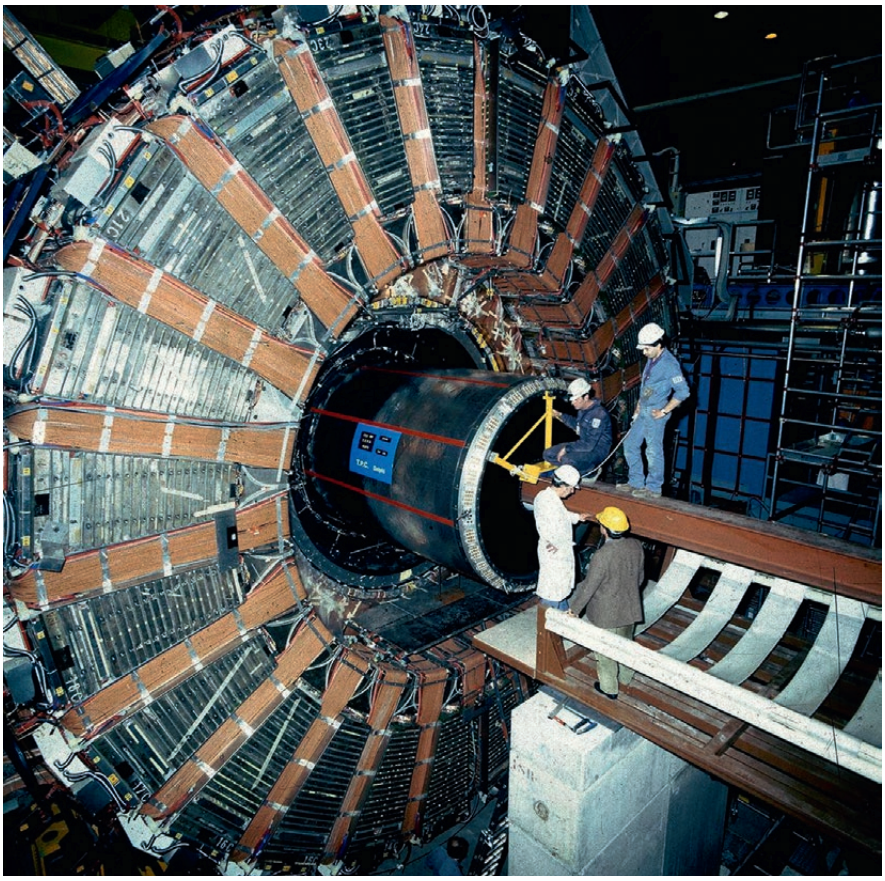
DELPHI-koeaseman kaavakuva vuodelta 1989. (Kuva CERN)

DELPHI-koeasema oli kymmenen metriä pitkä ja sen halkaisija oli samoin 10 metriä. Sisimpänä alidetektorina oli hiukkasten radan mittaamiseen rakennettu ratailmaisinkokonaisuus. Sen sisimpänä osana oli mikroverteksi-ilmaisin, jossa oli kolme piinauhailmaisimista koostuvaa sylinteriä 6–11 cm etäisyydellä koeaseman akselilta. Sen ympärillä sijaitsi DELPHI:n tärkein ratailmaisin, kaasutäytteinen Time Projection Chamber (TPC), toimintaperiaatteeltaan

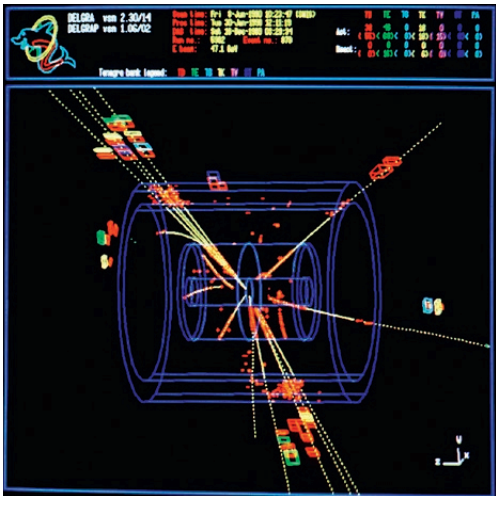


DELPHI-koeaseman kaavakuva vuodelta 1994. (Kuva CERN)

ajauttamiskammio, jonka pituus oli 260 cm ja sylinterin ulkosäde 120 cm. TPC:n ympärille oli sijoitettu sähkövarauksellisten hiukkasten identifioimista varten suuri sylinterimäinen Ring Imaging Cherenkov -ilmaisin (RICH), jonka ulkosäde oli 197 cm. Mikroverteksi-ilmaisimen ja TPC:n sekä TPC:n ja RICH-ilmaisimen väliin oli sijoitettu lisäksi lanka-kaasuilmaisimia, joilla täydennettiin hiukkasten ratojen mittausta. RICH-ilmaisimen ympärille oli asennettu sähkömagneettinen kalorimetri, High-Density Projection Chamber (HPC). Se oli sampling-kalorimetri, jossa absorbaattorina oli lyijykerroksia ja ilmaisimina lyijykerrosten väliin sijoitetut kaasudetektorit, joissa hiukkasten aiheuttama ionisaatio ajautettiin sähkökentällä detektorin päissä sijaitseviin verrannollisuuskammioihin rekisteröintiä varten. Toimintaperiaate oli siis samanlainen kuin TPC-ilmaisimessa (tästä nimi projection chamber). Näitä koeaseman sisimpiä ilmaisinsylintereitä ympäröi suprajohteinen solenoidi, jonka ulkosäde oli 2,6 m ja pituus 8 m. Solenoidi loi 1,23 T homogeenisen kentän sisälleen. Magneetti, joka oli englantilaisen Rutherford-laboratorion (RAL) suunnittelema ja valmistama, oli suurin siihen mennessä rakennettu suprajohteinen solenoidi. Solenoidin ulkopuolelle, sen vuonpalauttimen sisään oli sijoitettu DELPHIn hadronikalorimetri. Sen absorbaattorina toimi vuonpalauttimen rauta ja ilmaisimina vuonpalauttimen sisälle lomitetut Limited Streamer Mode -kaasuilmaisimet. Uloimpana sijaitsivat myonien havaitsemiseen tarkoitetut ajauttamiskammiot, kolme sylinterimäistä rakennetta, joista sisin sylinteri oli sijoitettu vuonpalauttimen sisään. Koeaseman tynnyri-



DELPHI-koeasema asennusvaiheessa. Näkyvissä on tynnyriosan toinen pääty. (Kuva CERN)



osan (Barrel) molempiin päihin oli sijoitettu päätyosat, jotka koostuivat ilmaisinkerroksista samassa järjestyksessä kuin tynnyriosassa, nyt ilmaisintasoina. Kaikkiaan koeaseman paino oli 3500 tonnia. Laitteisto oli toimintavalmiina vuonna 1989, kun LEP-törmäytin käynnistettiin.

Tietokoneella rekonstruoitu kuva DELPHI-koeaseman rekisteröimästä elektroni-positroni -törmäyksestä LEPillä. (Kuva CERN)

4.1. Kysymys Suomen CERN-jäsenyydestä nousi esille 1980-luvun alussa

Vuonna 1981 järjestettiin Suomessa jo toisen kerran CERNin ja JINR:n yhteishankkeena kansainvälinen hiukkasfysiikan kesäkoulu nuorille hiukkasfysiikkaan erikoistuville fysiikan jatko-opiskelijoille. Ensimmäinen tällainen koulu oli pidetty kesäkuussa v. 1970 Loma-Kolilla Pohjois-Karjalassa. Nyt koulu järjestettiin Hangossa 6.–19. kesäkuuta 1981.

CERN-JINR Joint School of Physics 1981 Hangossa. Eturivissä istumassa vasemmalta Dr. A.N. Sissakian (JINR), JINR:n varajohtaja professori I. Zlatev, CERNin pääjohtaja H. Schopper, koulun sihteeri Miss C.A. Caton, koulun opiskelija Helmuth Randoll, koulun johtaja dos. H.I. Miettinen, CERNin kansainvälisten asioiden johtaja Dr. W.O. Lock. Vasemmassa reunassa koulun varajohtaja, professori K. Kajantie. (Kuva CERN)

Hangon kesäkoulun ohjelmaan osallistui myös CERNin ja JINR:n johtoa. CERNin pääjohtaja, professori Herwig Schopper piti esitelmän CERNin tieteellisestä ohjelmasta ja JINR:n varajohtaja, professori I. Zlatev JINR:n tieteellisestä ohjelmasta. Vierailunsa aikana professori Schopper ja professori Zlatev tapasivat myös Helsingin yliopiston ja Suomen Akatemian johtoa. Tapaamises-

Suomen Akatemian johtaja professori Kai Otto Donner tapaamassa CERNin pääjohtajaa Herwig Schopperia 11.11.1981. Kuvassa vasemmalta CERNin pääjohtaja Herwig Schopper, dos. Jorma Tuominiemi ja professori Kai Otto Donner. (Kuva CERN)

sa pääjohtaja Schopper otti yllättäen esille Suomen mahdollisen CERN-jäsenyyden tai ainakin yhteistyön vahvistamisen vakinaisemmalle pohjalle.

Pääjohtaja Schopperin avaus herätti runsaasti keskustelua Suomessa. CERNin tiedotuspuoli puolestaan aktivoitui lisäämään CERN-tietoisuutta Suomessa kutsumalla suomalaisia toimittajia (mm. Helsingin Sanomien toimittajan Lauri Karénin) tutustumaan CERNiin ja luomalla informaalisia yhteyksiä suomalaiseen teollisuuteen ja tiedehallintoon.

Vuoden lopulla, marraskuun 2. päivänä Hiukkasfysiikan komitea esitti Luonnontieteelliselle toimikunnalle, että Suomi ryhtyisi neuvottelemaan CERNin kanssa ”observer”-asemasta, joka oli tietynlainen liitännäisjäsenyys ilman varsinaisia velvoitteita. Ainoa oikeus, joka sen mukana tuli, oli lähettää kaksi edustajaa CERNin Neuvoston kokouksiin. Tällaisena liitännäisjäsenenä CERN-yhteistyöhön osallistuivat tuohon aikaan Jugoslavia, Puola ja Turkki, lisäksi Portugal oli tätä statusta hakemassa. Hiukkasfysiikan komitean perusteluna oli, että observer-statuksella saataisiin Suomelle CERNissä virallinen asema epävirallisen, CERNin johdon kanssa v. 1968 tehdyn suullisen ”ad hoc” -sopimuksen tilalle. Valtion luonnontieteellinen toimikunta lämpeni ehdotukselle ja toimitti sen edelleen Valtion tiedeneuvostolle käsiteltäväksi. Keskusteluja observer-asemasta käytiin myös CERNin lakimiehen, C. Perreaux’n kanssa.

Professori Donner tapasi myös CERNissä työskenteleviä suomalaisia tutkijoita. Vasemmalta selin apulaisprofessori Masud Chaichian, pääjohtaja Schopper, dos. Jorma Tuominiemi, pääjohtaja Donner, TkT Tapio Niinikoski (selin), TkT Pertti Aarnio, dos. Veikko Karimäki ja FT Mikko Sainio. Niinikosken takana näkymättömissä FL Ritva Kinnunen. (Kuva CERN)

Heti tämän jälkeen 11.11.1981 Suomen Akatemian johtaja Kai Otto Donner vieraili CERNissä. Hän tutustui CERNin toimintaan ja neuvotteli pääjohtaja Schopperin kanssa Suomen ja CERNin yhteistyöstä. Donner vieraili koeasemilla, joilla suomalaiset tutkijat työskentelivät, mm. UA1-kokeella ja tutustui CERNin polarisoitujen kohtioitten laboratorioon, jossa TkT Tapio Niinikoski esitteli hänelle kryostaattiprojektia, joka oli aloitettu TKK:n kylmälaboratorion kanssa yhteistyössä v. 1973.

Suomen Geneven pysyvässä edustustossa keskustelut CERN-suhteista olivat tiedossa. Toimitin lähetystöneuvos Björn Ekblomin kehoituksesta edustuston päällikölle, suurlähettiläs Paavo Rantaselle 4.1.1982 muistion suomalaisten tutkijoiden osallistumisesta hiukkasfysiikan tutkimukseen CERNissä. Edustuston virkamies-

Donnerin pohdintoja Suomen kansainvälisestä tiedeyhteistyöstä

Olin illallisella Donnerin kanssa 10.11.1981 Geneven keskustassa. Hän esitti paljon tarkkanäköisiä kysymyksiä suomalaisten toiminnasta ja tutkimusolosuhteista CERNissä. Hänellä oli varsin realistinen katsantokanta Suomen suhteista kansainvälisiin tiedeorganisaatioihin. Hän ounasteli, että niihin oli vähitellen tultava muutosta. Suomen erikoisasema kansainvälisissä suhteissa oli hänen mukaansa vähitellen loppumassa. ”Tämä loppuu varmaan ennen pitkää, tämä nyhjäys.” Suomen Akatemiassa CERN-suhteista vallitsevaa kantaa Donner kommentoi toteamalla, että hänen päätöksensä vierailla CERNissä oli herättänyt huolestumista. ”Älä nyt vaan sitten lupaa mitään.” Donner totesi vain: ”Minusta piti tulla katsomaan mistä oikein on kysymys.”

Kuva Fysiikka 82 -näyttelyn avajaisista. Keskellä kainalosauvoissa CERNin pääjohtaja Herwig Schopper, neljäs oikealta Suomen Akatemian johtaja Kai Otto Donner, kolmas oikealta opetusministeri Kaarina Suonio. Eturivissä toinen vasemmalta CERNin tiedotuspäällikkö Brian Southworth. (Kuva Helsingin yliopisto)

ryhmä kävi tämän jälkeen CERNissä epävirallisella vierailulla suurlähettiläs Rantasen ja lähetystöneuvos Ekblomin johdolla 21.1.1982. He tutustuivat lähinnä UA1-kokeeseen.

Vuoden 1982 toukokuun 20.–26. päivänä järjestettiin Helsingissä suomalaisen fysiikan suurnäyttely Fysiikka 82. Tapahtumapaikkana oli Säätytalo, joka tuolloin oli vielä Suomen tieteellisten seurojen käytössä. Fysiikka 82 -näyttelyn järjestelytoimikunnan puheenjohtajana ja sen ideoijana ja puuhamiehenä toimi dosentti Hannu I. Miettinen Helsingin yliopiston Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitokselta. Näyttely esitteli kansantajuisesti Suomessa tehtävää fysiikan tutkimusta ja lisäksi CERN toimitti paikalle oman liikkuvan näyttelynsä. Miettinen oli saanut kimmokkeen näyttelyn järjestämiseen osallistuessaan hiukkasfysiikan kansainväliseen konferenssiin Lissabonissa heinäkuussa 1981. Portugalilaiset hiukkasfyysikot olivat järjestäneet konferenssin yhteyteen suurelle yleisölle tarkoitetun, erinomaisesti laaditun fysiikan näyttelyn, johon myös CERN oli tuonut oman liikkuvan näyttelynsä.

Opetusministerin vierailu UA1-kokeen LSS5-hallilla CERNissä. Vasemmalta: dos. Jorma Tuominiemi, CERNin tiedotusjohtaja Roger Anthoine, tiedesihteeri Esko-Olavi Seppälä (OPM), suurlähettiläs Paavo Rantanen, osastopäällikkö Markku Linna (OPM), rouva Seppälä (Suomen Akatemia), opetusministeri Kaarina Suonio, FM Rauno Lauhakangas (SEFL). (Kuva CERN)

Fysiikka 82 -näyttelyn suojelijana toimi opetusministeri Kaarina Suonio. CERNin pääjohtaja Herwig Schopper ja opetusministeri Suonio osallistuivat näyttelyn avajaisiin. Paikalla olivat myös Suomen Akatemian johtaja professori Kai Otto Donner ja CERNistä professori Carlo Rubbia. Näyttely tarjosi myös tilaisuuden CERNin johdon ja Suomen Opetusministeriön johdon välisille neuvotteluille.

Fysiikka 82 -näyttely oli valtava yleisömenestys, siellä kävi n. 20 000 vierailijaa. Tämä oli yllätys järjestäjille ja näyttely muodostuikin alkupontimeksi pysyvän suomalaisen tiedekeskuksen rakentamiselle pääkaupunkiseudulle. Jo syksyllä 1982 Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Suomen Fyysikkoseura ja Suomen Tähtitieteellinen yhdistys URSA käynnistivät Tiedekeskusprojektin, jonka tuloksena rakennettiin tiedekeskus Heureka. Projektin johtajana toimi Hannu I. Miettinen ja sen johtoryhmän jäseninä mm. Helsingin yliopiston kansleri Ernst Palmén ja professori Toivo Katila TKK:lta.

Suomessa observer-asian käsittely jatkui. Valtion tiedeneuvoston työvaliokunta käsitteli kokouksessaan 14.12.1982 Suomen Akatemian 15.11.1982 tekemää esitystä, että Suomelle haettaisiin tarkkailija-asemaa Euroopan ydinfysiikan tutkimusjärjestössä. Työvaliokunta palautti asian opetusministeriölle ja pyysi sitä tarkemmin selvittämään mahdollisuuksia tarkkailija-aseman saavuttamiseen ja tutkimaan mitä vaikutuksia tällaisen aseman saavuttamisella olisi.

Opetusministeri Suonio vieraili CERNissä maaliskuussa 1983, juuri W-bosonin löytymisen jälkeen. Ennen vierailua professori Antti Siivola ja yliassistentti Jorma Tuominiemi kävivät Opetusministeriössä osastopäällikkö Markku Linnan ja tiedesihteeri E.O. Seppälän tentattavana hiukkasfysiikan tutkimuksen tilanteesta Suomessa ja observer-asemasta CERNissä. Vierailullaan CERNiin 16.3.1983 opetusministeri Suonio ja hänen johtamansa valtuuskunta, jonka jäsenenä oli myös osastopäällikkö Markku Linna, neuvotteli jälleen pääjohtaja Schopperin kanssa Suomen observer-asemasta. Ministeri Suonio vieraili koeasemilla, joilla suomalaiset tutkijat olivat tutkimuksessa mukana.

Näihin aikoihin CERNin johto oli muuttamassa mieltään observer-aseman suhteen. Heidän ja opetusministeri Suonion johtaman valtuuskunnan välisissä neuvotteluissa CERNissä pääjohtaja Schopper totesi, ettei tarkkailija-asema ehkä Suomen kohdalla olisi tarkoituksenmukaisin tapa CERN-suhteiden kehittämiseen. Suhteita maihin, jotka eivät olleet jäseniä mutta osallistuivat aktiivisesti tutkimukseen CERNissä, oli hoidettu 80-luvun alussa kirjeiden vaihdolla. Henkilökohtaisissa professori Schopperin kanssa käymissäni keskusteluissa hän totesi saman ja viittasi siihen, että kansainvälispoliittiset seikat olivat tuolla hetkellä uusia tarkkailija-asemajärjestelyjä vastaan.

Keskustelu opetusministerin kanssa LSS5:llä

Suomalaisen UA1-tutkimusryhmän kanssa UA1-koehallilla käydyissä keskusteluissa Suonio tiukkasi meiltä, mitä me oikeasti haluamme. Hämmennyksessäni vastasin, että tarvitsemme ennen kaikkea riittävät resurssit Suomesta tutkimukseemme. Oli aistittavissa, että observer-asema oli alkanut arveluttaa opetusministeriössä. Myös ulkopoliittiset syyt pulpahtivat keskustelussa esille. Niihin Suonio reagoi hyvin voimakkaasti. Sellaisia syitä ei hänen mielestään ollut, eikä niistä saanut puhuakaan.

4.2. Uusi sopimus CERN-yhteistyöstä v. 1985

Pian tämän jälkeen 25.3.1983 CERNin johto toimitti opetusministeriölle alustavan luonnoksen asiakirjaksi, jolla Suomen suhteet CERNiin voitaisiin CERNin mielestä virallistaa (”Scientific and technical collaboration between the European Organization for Nuclear Physics (CERN) and Finland”). Opetusministeriö pyysi 25.4.1983 luonnoksesta Suomen Akatemian lausuntoa ja pyysi samalla Akatemiaa hankkimaan siitä myös Hiukkasfysiikan komitean lausunnon. Reunaehdot olivat kuitenkin selvät. Akatemiaa pyydettiin antamaan lausuntonsa siitä, että voitaisiin varmistaa senhetkisen yhteistyön jatkuminen Suomen ja CERNin välillä, ottaen huomioon, että minkäänlaisiin sitoumuksiin Suomen rahoitusosuuksien vähimmäistasosta ei voitu sitoutua. CERNin laatima luonnos (pykälä 6.) tietenkin sisälsi maininnan tällaisesta alarajasta:

> ”Further, the appropriate Finnish authorities would arrange for an augmentation from their national budget of the present Visiting Team Account to allow an adequate Finnish contribution to the materials cost of those experiments in which the Finnish physicists play a major role. These funds, which would at least be at a level of …… kSF (SF = Swiss franc) each year, would be used within the framework of the agreement governing for the experiment in question.”

Esitys oli lausunnolla Hiukkasfysiikan komiteassa. Komitea, jonka puheenjohtaja oli professori Rauno Hämäläinen, korosti suomalaisten tutkijoiden menestyksekästä osallistumista CERNissä tehdyissä hiukkaskokeissa (UA1, EHS) ja mahdollisuuksia sen jatkamiseen LEP-kokeissa. Muistiota komitea piti hyvänä, mutta ehdotti opetusministeriön ohjeita seuraten, että pykälästä 6. poistettaisiin sen viimeinen lause ja ensimmäisen rivin ”arrange” sanan sijalle vaihdettaisiin ”plan”. Esitettyä poistoa korvaamaan Hiukkasfysiikan komitea piti kuitenkin välttämättömänä, että muistioon sisällytettäisiin liitteenä Suomen Akatemian hyväksymä suunnitelma hiukkasfysiikan rahoituksen järjestämisestä Suomessa 1984–1989.

CERN-suhteita kehiteltiin edelleen erilaisten vierailujen merkeissä. Entinen pääjohtaja, professori León Van Hove vihittiin Helsingin yliopiston kunniatohtoriksi 2. helmikuuta 1984. Myöhemmin keväällä Suomen fyysikkoseuran delegaatio, joka oli tutustumassa useisiin kansainvälisiin tutkimuskeskuksiin Euroopassa, teki ekskursion CERNiin 29.5.1984. Tässä 36 henkilön ryhmässä oli paitsi tutkijoita ja opettajia, 14 fysiikan opiskelijaa sekä useita teollisuuden edustajia. Mukana oli myös toimittajia. Ryhmä vieraili DELPHI-koeasemalla ja tutustui LEP-törmäyttimen rakentamisessa tarvittavaan teknologiaan. Myös UA1-koeasemalla käytiin. Muista CERNille Suomessa julkisuutta tuoneita tapahtumia olivat Nobelin fysiikan palkin-

non myöntäminen Carlo Rubbialle ja Simon van der Meerille 17.10.1984 ja Rubbian vierailu Helsingissä 14.12.1984.

Vihdoin tammikuussa 1985 Suomen Akatemia oli valmis allekirjoittamaan yhteistyösopimuksen CERNin kanssa. Akatemian johtaja Kai Otto Donner vieraili CERNissä ja allekirjoitti 29.1.1985 pääjohtaja Schopperin kanssa Memorandum of understanding -asiakirjan: ”Scientific and technical collaboration between the European Organization for Nuclear Physics (CERN) and the Academy of Finland”. Asiakirjan otsikko oli nyt muuttunut niin, että sopimus solmittiin CERNin ja Suomen Akatemian välillä. Pääjohtaja Schopperin mukaan tämä siksi, että CERNin johto ei halunnut viedä asiaa CERNin Neuvostoon. Dokumentti oli sisällöltään identtinen CERNin v. 1983 laatiman dokumentin kanssa lukuun ottamatta kuuluisaa 6. pykälää, joka oli muotoutunut hyvin lähelle Hiukkasfysiikan komitean ehdotusta:

> ”Further, the appropriate Finnish authorities would arrange for an adequate Finnish contribution to the materials cost of those experiments in which the Finnish physicists play a major role. These funds would be used within the framework of the agreement governing for the experiment in question”.

Ei siis sitoumuksia rahoituksen alarajasta, mutta selvä lupaus siitä, että laitekuluihin CERNissä osallistuttaisiin. Oli otettu askel eteenpäin, Suomen ja CERNin välinen yhteistyö oli nyt virallisesti kirjattu ja oli sitouduttu vastaamaan materiaalikuluista kokeissa, joissa suomalaiset tutkijat olivat merkittävässä osassa. Suomen Akatemian panos CERN-yhteistyöhön tässä vaiheessa oli n. 1,5 miljoonaa markkaa.

Samaan aikaan kun professori Donner vieraili CERNissä allekirjoittamassa uutta yhteistyösopimusta, sinne saapui myös Suomen Teollisuuden Keskusliiton delegaatio puheenjohtajansa Timo Relanderin johdolla. Matkaseurueeseen kuuluivat lisäksi pääjohtaja Pertti Voutilainen Outokumpu Oy:stä, toimitusjohtajat Yrjö Toivola (Vaisala Oy), Matti Ilmari (Kymi-Strömberg), Gerhardt Wendt (Kone), Raimo Junnila (Neste), Antti Tuuri (Nokia) ja Lauri Prepula (Suomen ulkomaankauppaliitto). Teollisuusjohtajien ryhmä oli palaamassa Etelä-Afrikasta teollisuusvierailulta ja se teki välilaskun Geneveen tutustuakseen CERNiin. Delegaatio tutustui ”suomalaisiin” CERNin kokeisiin ja tapasi pääjohtaja Schopperin. Epävirallisissa keskusteluissa tuli esille, että teollisuusjohtajat pitivät kyllä CERN-yhteistyön edistämistä tärkeänä, mutta katsoivat sen kustannuksien kattamisen kuuluvan valtiovallalle. Yhteys teollisuuteen oli kuitenkin hyödyllinen CERN-suhteiden kannalta.

4.3. Suurenergiafysiikan työryhmä v. 1987

Suurenergiatutkimuksen työryhmän puheenjohtaja, akateemikko Pekka Jauho (keskellä) tutustumassa DELPHI-koeaseman rakennustöihin CERNissä. Kuvassa vasemmalta lukien SEFLin DELPHI-projektin päällikkö, dos. Risto Orava, Jauho, Pertti Valtonen valtiovarainministeriöstä ja DELPHIn puhemies, professori Ugo Amaldi.
(Kuva CERN)

Memorandum of Understanding-asiakirjan allekirjoittamisen jälkeen kiinnostusta yhteistyön lisäämiseen alkoi esiintyä paitsi perustutkimuksen, myös soveltavan tutkimuksen ja teollisuuden piirissä. Kiinnostus liittyi paljolti DELPHI-kokeen rakentamiseen, jota tehtiin myös Suomessa. Teollisuuden kiinnostus koski tutkimus- ja materiaalikehitystyötä ja materiaali- ja laitetoimituksia CERNiin.Toukokuussa 1987 Opetusministeriö asetti työryhmän selvittämään Suomen kiinnostusta yhteistyön laajentamiseen CERNin kanssa sekä perustutkimuksen että teollisuuden osalta. Työryhmän puheenjohtajaksi ministeriö asetti akateemikko Pekka Jauhon. Ryhmän jäsenet olivat Suomen Akatemian johtaja, professori Erik Allardt, apulaisprofessori Jorma Hattula Jyväskylän yliopistosta, professori Keijo Kajantie Helsingin yliopistosta, TEKESin ylijohtaja Juhani Kuusi, toimistopäällikkö Matti Lähdeoja OPM:stä, opetusneuvos Osmo Ranta OPM:stä, professori Dan-Olof Riska Helsingin yliopistosta, osastopäällikkö Ulla Sirkeinen VVM:stä, toimistopäällikkö Pertti Valtonen VVM:stä sekä pääjohtaja Pertti Voutilainen Outokumpu Oy:stä. Työryhmän sihteereiksi määrättiin dos. Heimo Saarikko ja kulttuurisihtee-

ri Kirsti Wartiovaara. Työryhmä otti nimekseen Suurenergiatutkimuksen (SUURE) työryhmä.

Työryhmä jätti lausuntonsa Opetusministeriölle 30.12.1987. Se katsoi ensinnäkin, että ratkaisu jäsenyydestä tuli tehdä pääasiassa tieteellisistä lähtökohdista. Se totesi myös, että silloinen vapaamuotoinen yhteistyö ilman jäsenyyttä oli ollut tutkimuksen kannalta onnistunut ratkaisu ja sitä olisi syytä jatkaa. Ryhmän mielestä Suomen olisi kuitenkin osallistuttava suuremmassa määrin CERNissä tehtävän tutkimustyön kustannuksiin, jos haluttiin jatkaa hiukkasfysiikan kokeellista tutkimustyötä Suomessa silloisella tasolla. Jäsenyydestä työryhmä totesi, että se oli vaikea asia Suomessa. Pääongelmana oli, että jäsenyyden kustannukset olivat suuret ja ne kohdistuivat kapealle tutkimuksen alueelle. Lausunnossa viitattiin myös vaikeuksiin, joita ns. Abragamin komitea oli käsitellyt CERNin toimintaa koskevassa väliraportissaan kesäkuulta 1987. CERNin Neuvosto oli asettanut kansainvälisen, CERNin ulkopuolisen komitean tutkimaan CERNin toimintaa ja tarkastelemaan, miten sitä voitaisiin uudistaa, jotta johtava asema alalla pystyttäisiin säilyttämään. Opetusministeriön Suurenergiatutkimuksen ryhmä oli tutustunut Abragamin komitean väliraporttiin ja oli ilmeisesti huolestunut lähinnä siinä esitetyistä ongelmista CERNin rahoituksessa. Niistä yksi oli CERNin eläkesäätiön huolestuttava varaintilanne. Näihin viitaten ja tuntien täysjäsenyyden vastustuksen Suomen tiedehallinnossa, työryhmä ei katsonut tiedepoliittisista lähtökohdista mahdolliseksi suositella jäsenyyttä.

Työryhmän esittämät ehdotukset yhteistyön jatkamiselle perustuivat projektikohtaiseen, määräaikaiseen osallistumismalliin, joista CERNin kanssa olisi lähdettävä neuvottelemaan. Jatkuvan ja riittävän kotimaisen tuen varmistamiseksi CERN-yhteistyöhön osallistumiselle ja yhteistyön kansalliselle hyödyntämiselle työryhmä ehdotti Helsingin yliopiston yhteyteen perustettavaksi kokeellisen suurenergiafysiikan tutkimuslaboratorion, SEFLin opetus- ja tutkimustehtävää täydentämään. Vastuukysymysten selkiyttämiseksi laboratorioon tuli perustaa professoritasoinen johtajan virka. Myös kokeellisen suurenergiafysiikan tutkijoiden virkarakennetta ehdotettiin korjattavaksi, mutta tästä ei esitetty mitään konkreettista.

Lähes samanaikaisesti Jauhon työryhmän raportin julkaisemisen kanssa Abragamin komitea jätti lopullisen raporttinsa. Komitea luovutti sen CERNin Neuvostolle kokouksessa 17.–18.12.1987. Raportti oli perusteellinen ja monipuolinen tutkimus CERNin toiminnasta. Se sisälsi pitkän listan seikkoja, joihin CERNin johdon tuli komitean mielestä kiinnittää huomiota. Mielenkiintoista Suomen osalta oli, että komitea totesi yksioikoisesti:

> ”Western European States wishing to participate in CERN at a significant level should be obliged to become members. Finland already participates at a similar level to other Scandinavian countries and should be encouraged to join in the near future.”

4.4. Keskustelu jäsenyydestä jatkuu vilkkaana

Jo ennen Jauhon työryhmän raporttia oli lehdistössä ollut useita kirjoituksia Suomen liittymisestä CERNin jäseneksi, puolesta ja vastaan. Yksi arvovaltaisista kannanotoista oli professori Olli V. Lounasmaan kirjoitus Helsingin Sanomissa 10.12.87. Tähän vastasivat professori P. Hoyer (HeSa 20.12.87) ja yliassistentti J. Tuominiemi (30.12.1988), esittäen useilta kohdin eriäviä käsityksiä Lounasmaan kirjoitukseen. Kun Jauhon komitean raportti oli julkaistu, keskustelu lehdistössä vilkastui entisestään. Siihen liittyi myös keskustelijoita tieteen muilta kuin fysiikan aloilta. Päällimmäisenä vastustavissa kommenteissa oli CERNin jäsenyyden kalleus, jäsenmaksu olisi tuolloin ollut n. 40 milj. mk. Vertailun vuoksi: Suomen Akatemian luonnontieteellisen toimikunnan vuosibudjetti oli 55 milj. mk ja teknillisen toimikunnan 37 milj. mk. Kirjoittelussa näkyi myös selvästi, ettei CERNin toimintamallia tunnettu. Se, että CERN on käyttäjäkeskus, joka on ”yhteinen” sen jäsenvaltioiden yliopistoille ja tutkimuslaitoksille, ei ollut selvää monille kriitikoille. Hyvä yhteenveto argumenteista puolesta ja vastaan esitettiin Arkhimedes-lehden v.1988 ensimmäisessä numerossa, jossa julkaistiin professori Paul Hoyerin ja professori Stig Stenholmin perusteelliset selvitykset. Molemmat olivat kirjoituksessaan sitä mieltä, että jäsenyyden tieteelliset perusteet oli vielä selvitettävä huolellisesti.

Jonkinlainen merkki siitä, että muitakin kuin tieteellisisä perusteita oli maan hallituspiireissä jo pohdittu, oli entisen kauppa- ja teollisuusministerin Jermu Laineen artikkeli Uudessa Suomessa 6.1.1988. Laine oli vieraillut ministerinä CERNissä joulukuussa 1986. Hän tarkasteli kirjoituksessaan Suomen CERN-jäsenyyttä Länsi-Euroopan tiedeyhteisöön kuulumisen kannalta. ”Onneksi tieteellinen kunnianhimomme on pakottanut antamaan näyttöjä osaamisesta, mutta hyväntahtoisia yhteistyökumppaneita varten pidetään edelleen takataskussa varalla myös varattomuustodistusta.” Laineen mukaan rahakysymykset pyrittiin trivialisoimaan pois tieteenlohkojen rahanjakopulmana. ”Voimme tietenkin köyhyyden varjolla vielä muutaman vuoden ketkutella jonkin Portugalin – ja itäeurooppalaisen ”ulkojäsenen” kuten Puolan – seurassa. Mutta mitä me tällä oikeastaan voitamme? Yliopisto puolusta-

Portugal ja CERN

Portugali liittyi CERNiin vuoden 1986 alusta. Ministeri Laineelta oli tämä jäänyt huomaamatta kirjoittaessaan Uuteen Suomeen v. 1988 tammikuussa. Olimme hiukkasfyysikkopiireissä seuranneet Portugalin hiukkasfyysikoitten toimia CERNin jäsenyyden saavuttamiseksi alkaen v. 1981 Lissabonin konferenssista, jossa olimme tutustuneet asiaan paikan päällä. Kysyin Portugalin CERNiin liittymisen jälkeen professori José Gagolta, Portugalin fyysikkoedustajalta CERNin Neuvostossa, miten he olivat onnistuneet saamaan läpi CERNin jäsenyyden. Hän vastasi, että ratkaisevaa oli ollut saada teknilliset korkeakoulut mukaan hankkeeseen. Voidaan näin jälkikäteen todeta, että Portugal on CERNin jäsenenä ollutkin varsin aktiivinen teknologian siirrossa sen ja CERNin välillä.

koon asemaansa…" Samoin teemoin kirjoitti jäsenyydestä myös jo pitkään eläkkeellä ollut emeritusprofessori K.V. Laurikainen. (HS 29.1.1988). Hän kirjoitti: "Kysytään, miksi alkeishiukkastutkimukseen pitäisi sijoittaa kymmeniä miljoonia markkoja, kun tällaisella summalla voitaisiin luoda monelle muulle alalle suorastaan ruhtinaalliset olosuhteet. Tällainen kysymys on väärin asetettu. Kyseiset varat voidaan saada vain CERNiin liittymistä varten tai ei sitten ollenkaan. On harkittava, voiko Suomi jatkuvasti kieltäytyä tällaisen yhteistyön ylläpitokustannusten maksamista. Nähdäkseni asiallisia syitä ei enää ole – ei poliittisia eikä taloudellisia."

CERNin pääjohtajakin osallistui keskusteluun Helsingin Sanomille antamassaan haastattelussa (Lauri Karén, HeSa 13.3.88). Schopper totesi mm., että "CERN kyllä pysyy hengissä, vaikka Suomi ei liittyisikään". Kysymys oli Schopperin mielestä myös poliittinen siinä mielessä, että Suomi kuuluu eurooppalaisten kansojen perheeseen. Schopper otti myös kantaa siihen, tarkoittiko Suomen jäsenmaksu CERNille menetyksiä muille tieteen aloille. Hän suhtautui tähän tiedemiehenä vakavasti, mutta totesi että kokemus CERNin jäsenmaissa oli osoittanut, että suurenergiafysiikan tutkimukseen osallistuminen on hyödyttänyt myös muita tieteitä. Jyväskylän yliopiston teoreettisen fysiikan professori Pertti Lipas osallistui keskusteluun Tübingenin yliopistosta käsin, jossa hän oli sapattivuotenaan tutkijana. Lipas kirjoitti: "Minusta CERNin laajempi merkitys Euroopan valtioiden yhteisenä kulttuurisijoituksena on todellinen syy, miksi meidän pitäisi liittyä, ei teollinen tai muu "hyöty." Edelleen hän painotti, että "muiden fyysikoiden ja muiden alojen edustajien ja puolestapuhujien tulisi ymmärtää, myöntää ja hyväksyä suurenergiafysiikan fundamentaalinen ensisijaisuus." Samalla aallonpituudella Lipas oli Jermu Laineen kanssa:" Ja vielä taloudellis-poliittinen aspekti: Suomessa istuu sitkeässä tietty köyhäilymentaliteetti, ja toisaalta jonkinlaisen poliittisen ainoalaatuisuuden myytti. Nämä muka antavat meille erivapauksia. Täältä rikkaan Etelä-Saksan suuren yliopiston näkökulmasta ei Suomessa olla laisinkaan köyhiä."

Useissa yhteyksissä käytettiin CERNin henkilökunnan ikärakennetta, "ukkoutumista" ongelmana, jonka vuoksi Suomen pitäisi varoa liittymästä. Abragamin raportissa ikäjakautuma esitti koko henkilökuntaa. Tästä kuitenkin vain pieni osa (2 %) on tutkijoita, eikä heidän uudistumisensa liene ollut jarruna tieteelliselle kehitykselle. CERNissä tutkimuksen tekevät pääasiassa tuhannet kaikkialta maailman yliopistoista ja tutkimuslaitoksista tulevat tutkijat, "users" (n. 4000 v. 1988, n. 10 000 v. 2015), jotka eivät kuulu CERNin henkilökuntaan, ja joiden ikäjakautuma on aivan toisenlainen.

Jatkumona Suurenergiatutkimuksen työryhmän raportille Opetusministeriö asetti 6.5.1988 uuden työryhmän (CERN-työryhmä), jonka tehtäväksi annettiin Suurenergiatutkimuksen työryhmän raportin pohjalta tehdä yksityiskohtainen esitys Suomen osallistumisesta projektiyhteistyöhön CERNin kanssa käytävien keskustelujen pohjaksi. Työryhmän jäseninä olivat

toimistopäällikkö Matti Lähdeoja (puheenjohtaja), Helsingin yliopiston hallintojohtaja Timo Esko, professorit Jorma Hattula (Valtion luonnontieteellinen toimikunta), Paul Hoyer (Helsingin yliopisto), Keijo Kajantie (Helsingin yliopisto), neuvotteleva virkamies Alpo Kuparinen (Kauppa- ja teollisuusministeriö), opetusneuvos Osmo Ranta (Opetusministeriö), ulkoasiainsihteeri Veikko Soralahti (Ulkoasiainministeriö) sekä apulaisjohtaja Kari Tilli (TEKES). Sihteereinä toimivat erikoistutkija Risto Raitio ja suunnittelija Marja Pulkkinen opetusministeriöstä.

CERN-työryhmä jätti ministeriölle 23.5.1988 välimuistion, jossa hahmoteltiin esitys CERN-yhteistyön laajentamisesta projektikohtaisesti niin, että siitä koituvat kustannukset nousisivat noin 10 miljoonaan markkaan vuodessa. Työryhmä valmisteli myös luonnoksen uudeksi yhteistyösopimukseksi Suomen ja CERNin välillä. Niistä keskusteltiin myös CERNin Neuvoston puheenjohtajan tri Josef Rembserin ja pääjohtaja Herwig Schopperin kanssa heidän vieraillessaan Suomessa elokuussa 1988. Rembser ja Schopper pitivät kiinni Suomen liittymisestä CERNin jäseneksi. He viittasivat siihen, että liitännäisjäsenyys ei esiinny lainkaan CERNin peruskirjassa, joten pelkkää projektiyhteistyötä Suomen ja CERNin välillä ei heidän mielestään voinut yksinkertaisesti pitää mahdollisena.

CERN-työryhmän esitys yhteistyön järjestämisestä projektipohjalle lähetettiin kuitenkin CERNin pääjohtajalle lokakuun alussa 1988 ja se tuli CERNin Neuvoston työvaliokunnan käsittelyyn kokouksessa 13.–14.10.1988. Käsittelyn pohjalta pääjohtaja Schopper teki Suomelle vastaehdotuksen, jonka mukaan Suomen tulisi vuoden 1990 aikana tehdä päätös jäseneksi liittymisestä vuoden 1991 alusta lukien, kaksivuotisen siirtymävaiheen jälkeen.

CERN-työryhmä jatkoi asian käsittelyä ja jätti lopullisen muistionsa opetusministeriölle 31.3.1989. Työryhmä totesi, että silloisessa tilanteessa ei ollut riittäviä tiedepoliittisia perusteita Suomen liittymiselle CERNiin. Pääongelmana pidettiin edelleen jäsenyyden vuotuisten kustannusten suuruutta Suomen tiedebudjettiin verrattuna. Jotkut työryhmän jäsenistä kuitenkin olivat jo katsoneet, että päätös Suomen suhtautumisesta CERNin jäsenyyteen piti tehdä Länsi-Euroopan maiden yhteistyön lähtökohdista. Kun työryhmä kokonaisuudessaan ei ollut perehtynyt CERN-jäsenyyden muihin kuin tiedepoliittisiin näkökohtiin se katsoi, ettei se voinut ottaa niihin kantaa. Työryhmä ehdotti mietinnössään, että kysymystä Suomen ja CERNin suhteista käsiteltäisiin maan hallituksen piirissä ja jäsenyyskysymykseen otettaisiin siellä täsmällinen kanta. Jos muita kuin tiedepoliittisia perusteita liittymiselle ei ollut, työryhmä ehdotti, että CERNin suhteita kehitetään toistaiseksi silloisen järjestelyn pohjalta. Yhteistyön rahoitusta oli kuitenkin lisättävä, jotta LEP-DELPHI-projektin toteuttamista varmistettaisiin. Tässä tarkoituksessa ehdotettiin Helsingin yliopiston yhteyteen perustettavaksi suurenergiafysiikan tutkimusyksikkö. Kun alan tutkimusta ja yhteistyötä CERNin kanssa harjoitettiin myös muissa korkeakouluissa, yksiköllä tuli olla myös valtakun-

nallinen koordinaatiotehtävä. Työryhmä esitti yksityiskohtaiset raamit tutkimuslaitoksen hallinnolle ja organisaatiolle. Tämä oli varsin merkittävä askel eteenpäin, varsinkin kun yksikön johtajalle asetettiin professorin pätevyys suurenergiafysiikassa. Yhtään kokeellista professorin virkaahan ei alalle vielä ollut perustettu.

Seuraavaksi kantaa otti Suomen Fyysikkoseuran hallitus kokouksessaan 24.4.1989. Puheenjohtaja Risto Niemisen ja varapuheenjohtaja Kimmo Kasken allekirjoittamassa lausunnossa kerrataan aiemmissa kielteisissä kannanotoissa esitettyjä ongelmia, eritoten CERNin jäsenmaksun merkittävää suuruutta ja kokeellisen hiukkasfysiikan alan kapeutta fysiikan perustutkimuksessa Suomessa. Edelleen katsottiin vaarana olevan, että Suomi ei silloisissa olosuhteissa pystyisi jäsenyyttään täysin hyödyntämään, vaan joutuisi korostuneesti yleiskulujen maksajaksi. Mahdollisten teknologisten spin-off-vaikutusten katsottiin kohdentuvan valtaosin tiedeyhteisön ulkopuolelle. Fyysikkoseuran hallituksen lausunto päättyy suositukseen ”Suomalaisen tiedeyhteisön keskeisenä tavoitteena tulee olla kansainvälisen huipputason perustutkimus järkevästi valituilla painopistealueilla. Suomen fyysikkoseuran hallituksen mielestä ei ole olemassa sellaisia fysiikan tutkimukseen liittyviä perusteita, jotka puoltaisivat Suomen liittymistä CERNin jäseneksi ilman fysikaalisten tieteiden koko tutkimuskentän tasapainoisen ja joustavan rahoituksen turvaamista. Tämä edellyttää määrätietoista henkistä ja taloudellista panostamista perustutkimukseen pitkällä aikavälillä.” Oli tietysti odotettua, että Fyysikkoseuran hallitus, jossa ei ollut hiukkasfysiikan edustusta, tuli näihin johtopäätöksiin tarkastelemalla asiaa kapeasti tieteellisistä näkökohdista ja uskoen, että jäsenyyskustannukset tulisivat vaikeuttamaan muun fysiikan perustutkimuksen rahoittamista Suomessa. Huomiotta jäi, että useissa aikaisemmissa kannanotoissa oli jo todettu, että jäsenmaksu tultaisiin budjetoimaan erillisenä varsinaisesta tiedebudjetista.

Professori Olli Lounasmaa teki lyhyen vierailun CERNiin tapaamaan pääjohtaja Rubbiaa 25.–26.5.1989. Tapaamisen aiheena olivat keskustelut Suomen mahdollisesta liittymisestä CERNin jäseneksi. Lounasmaa kävi myös tutustumassa UA1-kokeeseen ja tarkastamassa TkT Tapio Niinikosken dilutiokryostaattia SMC-kokeella.

4.5. Suomen liittyminen CERNin jäseneksi v. 1991

Kevään 1989 aikana tilanne CERN-suhteiden kehityksessä oli jo muuttumassa. Huhti–toukokuun vaihteessa 1989 CERNin pääjohtajan professori Carlo Rubbian ja osastopäällikkö Markku Linnan välisen kirjeenvaihdon jälkeen CERN-jäsenyys oli ensimmäistä kertaa esillä hallituksen talouspoliittisessa ministerivaliokunnassa sen kokouksessa 16.6.1989. Toimistopäällikkö Matti Lähdeoja informoi pääjohtaja Rubbiaa kokouksen kulusta. Osa ministereistä oli ottanut positiivisen kannan jäsenneuvotteluihin, mutta päätöstä Suomen CERNiin liittymisestä ei vielä ollut tehty. Se oli siirretty elokuussa 1989 pidettävien vuoden 1990 budjettineuvotteluiden yhteyteen. Sitä ennen jäsenyysasiaa oli vielä tarkoitus valmistella. Kesäkuun kokouksessaan talouspoliittinen ministerivaliokunta päätti jo DELPHI-kokeen rahoituksen vahvistamisesta vuoden 1990 budjetissa. (Lähdeojan kirje Rubbialle 16.6.1989).

Kokouksessaan 29.8.1989 Suomen hallituksen talouspoliittinen ministerivaliokunta päätti pääministeri Harri Holkerin johdolla neuvottelujen aloittamisesta CERNin kanssa Suomen jäseneksi liittymisestä. Liittyminen tähdättiin tapahtuvaksi vuoden 1991 tai 1992 alussa muutaman vuoden mittaisella jäsenmaksujen porrastuksella. Ministerivaliokunta katsoi edelleen, että jäsenyydestä aiheutuvat menot tuli budjetoida tiedebudjetista erillisenä. CERN-suhteiden teollisesta hyödyntämisestä päätettiin käynnistää selvitys. Samalla ministerivaliokunta päätti myös Euroopan avaruusjärjestön (ESA) täysjäseneksi liittymisestä vuodesta 1995 alkaen. Suomi oli ollut ESAn liitännäisjäsen vuodesta 1986 lähtien. Neuvottelujen aloittamisesta CERNin kanssa julkaistiin lehdistötiedote 29.8.1989. Opetusministeri Christoffer Taxell ja kauppa- ja teollisuusministeri Ilkka Suominen luonnehtivat lehdistölle liittymistä CERNin ja ESAn jäseniksi merkittäväksi ei vain kummankin erityisalueen vaan laajemman eurooppalaisen tutkimusyhteistyön kannalta. Suomisen mukaan täysjäsenyys oli tarpeen lähinnä kahdesta syystä. Täysjäsenenä Suomi pääsi osallistumaan järjestöjen päätöksentekoon ja toisaalta teollinen hyöty voitiin varmuudella saavuttaa vain täysjäsenenä. Taxell kommentoi myös, että CERNin taholta ei ollut esitetty mitään uhkavaatimuksia, kuten joissakin lehtikirjoituksissa oli väitetty. ”Olemme etsineet vaihtoehtoa nykyisen tilanteen ja täysjäsenyyden väliltä. Mutta kun sellaista ei ole löytynyt, päätimme liittyä täysjäseneksi. Leveämmässä katsannossa Suomelle on hyötyä jäsenyydestä, vaikka se onkin kallista.”

Professori Pekka Jauho palasi CERNin jäsenyysasiaan vuonna 1999 ilmestyneessä kirjassaan ”Ensin kielsin konditionaalin” (Terra Cognita 1999), jossa hän kuvaa mielenkiintoisella tavalla ja kattavasti laajaa toimintaansa suomalaisen tieteen ja teollisuuden hyväksi. Kun Jauho kutsuttiin Suurenergiatutkimuksen työryhmän puheenjohtajaksi, hän oli myös Valtion tiedeneuvoston jäsen (vv. 1985–89). Kirjassaan hän kirjoittaa työryhmän toiminnasta: ”Yritin katsoa fysiikkaa kokonaisuutena enkä pitänyt kohtuul-

lisena, että kapean sektorin edustajat saisivat kovin suuria erikoisetuja. Se olisi tiedepoliittista vinosuuntausta ja epäoikeudenmukaista muiden alojen harrastajia kohtaan." Jauho kirjoitti edelleen: "Kun asiaa käsiteltiin tiedeneuvostossa, opetusministeri Christoffer Taxell sanoi, että hän ymmärsi nämä perustelut, mutta ei voinut esiintyä uskottavasti kansainvälisyyden edistäjänä pohjoismaisten ministerikollegojen seurassa, jollei ottaisi myönteistä kantaa jäsenyyteen. Minä sanoin: "Silloinhan ratkaisu on puhtaasti poliittinen eikä tiedepoliittinen. Tämän jälkeen en enää palaa asiaan." Niin Suomi liittyi CERNiin.

Toinen merkittävä tiedepoliittinen vaikuttaja Suomessa, professori Olli Lounasmaa oli myös alusta alkaen vastustanut näkyvästi CERNin jäsenyyttä – hyvin samoin perustein kuin Jauho. Kuten edellä on jo mainittu, hän kirjoitti asiasta laajan artikkelin Helsingin Sanomiin 10.12.1987. Suurenergiafysiikan työryhmä oli käyttänyt myös Lounasmaata asiantuntijana. Kun päätös CERN-jäsenyydestä tuli, Lounasmaan reaktio oli: "If you cannot beat them, join them." Hän perusti TKK:n Kylmälaboratorioon uuden tutkimusryhmän, joka ryhtyi tukemaan polarisoitujen kohtioiden kehittämistä CERNissä Kylmälaboratorion kasvatin Tapio Niinikosken kanssa, Niinikoski oli 1970-luvulla vienyt Kylmälaboratorion huippuosaamista CERNiin ja oli nyt CERNin polarisoitujen kohtioiden osaston päällikkö. Muistelmissaan ("Täällä ei näperrellä; kylmäfyysikon kuumat paikat", Suomen Tiedeseura 2008) Lounasmaa kirjoittaa: "Lopulta päädyin siihen, että täysjäsenyys taisi sittenkin olla hyvä asia tieteellemme."

CERNin pääjohtaja Carlo Rubbia ja tutkimusjohtaja Walter Hoogland vierailivat Helsingissä 31.10.–1.11.1989 pohjustamassa jäsenneuvottelujen aloittamista. Olin yhdessä Matti Lähdeojan kanssa vastaanottamassa Rubbiaa Helsinki-Vantaan lentokentällä. Rubbia oli tyytyväinen Suomen hallituksen päätöksestä ja piti selvänä, että CERNin Neuvosto tulee hyväksymään Suomen CERNin jäseneksi, vaikka pari jäsenmaata olikin varauksellisia sen suhteen. Hän painotti Lähdeojalle, että asia kannattaisi hoitaa nopeassa aikataulussa, ettei tulisi mutkia matkaan. Neuvotteluissa Opetusministeriössä käytiin läpi anomukseen liittyviä seikkoja sekä keskusteltiin siirtymäkauden pituudesta. CERN oli valmis 4–5 vuoden siirtymäkauteen, jonka aikana jäsenmaksu vähitellen nousisi täyteen mittaansa. Vuoden 1989 budjetin pohjalta arvioituna Suomen jäsenmaksu olisi 15,7

Rubbia tiedekeskus Heurekassa

Suomen vierailun yhteydessä Rubbia tutustui myös tiedekeskus Heurekaan, joka oli aloittanut toimintansa toukokuussa 1989. Keskusta hänelle esitteli sen johtaja dos. Hannu I. Miettinen. Rubbia oli selvästi vaikuttunut ja halusi käydä läpi useita kohteita. Olimme hankkineet Heurekaan CERNistä kipinäkammion demonstroimaan kosmista säteilyä. Tullessamme kammiota katsomaan Rubbia kysyi heti ensimmäiseksi: "What's the gas mixture?". Kipinäkammiotekniikka oli hänelle tuttua oman tutkijauran alkuvaiheilta. Rubbian ihastus Heurekaan tuli sittemmin johtamaan siihen, että hän kutsui Hannu I. Miettisen CERNin tiedotuspäälliköksi. Miettinen toimi tiedotusosaston päällikkönä CERNissä vv. 1991–1995.

miljoonaa Sveitsin frangia, eli noin 41 miljoonaa Suomen markkaa, 1,9 % CERNin vuosibudjetista.

SEFL osallistui CERNin jäsenyysanomuksen valmisteluun. Opetusministeriö sai anomusasiakirjat valmiiksi tammikuussa 1990 ja opetusministeri Christoffer Taxell lähetti ne 22.1.1990 CERNin Neuvoston puheenjohtajalle, Dr. Josef Rembserille. Rembser informoi virallisen proseduurin mukaisesti CERNin jäsenmaiden delegaatteja Suomen anomuksesta ja ilmoitti aloittavansa muodolliset neuvottelut Suomen tiedehallinnon kanssa Suomen jäseneksi liittymisen ehdoista. Neuvotteluja johti Suomen puolelta neuvotteleva lähettiläs Pekka Lintu ulkoministeriöstä. Sopimus saatiin valmiiksi jo helmikuun 2. päivänä, ja sen allekirjoittivat lähettiläs Lintu ja CERNin puolelta CERNin neuvoston puheenjohtaja Josef Rembser ja CERNin pääjohtaja Carlo Rubbia. Muistion liitteeksi tuli asiakirja ”Accession of Finland to CERN”. Asiakirja käsitteli CERNin ja Suomen suhteiden kehitystä ja niiden edelleen kehittämistä CERNin jäsenyyden valossa, CERNin jäseneksi liittyvälle valtiolle lankeavia laillisia ja taloudellisia toimenpiteitä ja velvoitteita sekä kirjasi Suomen CERNin jäseneksi liittymisen ehdot. Jäsenyys tähdättiin alkavaksi 1991 alusta. Suomen jäsenmaksu porrastettaisiin niin, että Suomi maksaisi siitä vuonna 1991 20 %, vuonna 1992 40 %, vuonna 1994 90 % ja vuonna 1995 100 %. Täysi jäsenmaksu oli asiakirjassa arvioitu 1,95 %:ksi CERNin budjetista. CERNin Neuvosto hyväksyi Suomen liittymisen jäseneksi yksimielisesti ylimääräisessä istunnossaan 27.4. 1990. Istunnossa olivat mukana Suomen puolelta toimistopäällikkö Matti Lähdeoja, professori Paul Hoyer ja lähetystöneuvos Aapo Pölhö Suomen pysyvästä Geneven edustustosta. CERNin Neuvosto kutsui Suomen hallituksen edustajat osallistumaan myös Neuvoston kesäkuun ja joulukuun istuntoihin tarkkailijajäseninä.

CERNiin liittymistä oli kevään aikana valmisteltu mm. suomalaisen teollisuuden ja korkeakoulujen edustajista kootun valtuuskunnan vierailulla CERNiin 19.–20.1.1990. Ulla Sirkeisen ja Hannele Pohjolan vierailusta tekemässä matkaraportissa he kommentoivat vierailua yleisesti seuraavasti: ”Vierailun aikana saattoi todeta sen, että CERNissä yleisesti tunnetaan Suomea ja heillä on hyvä käsitys suomalaisesta osaamisesta. Omalta osaltaan tämä tuli esille pääjohtaja Rubbian lounaspuheessa, joka oli Suomelle erittäin myönteinen.”

Maaliskuun 26.–27. päivinä 1990 SEFL järjesti Helsingissä Hanasaaressa ”CERN-päivät”-seminaarin, jossa esiteltiin CERNin toimintaa ja organisaatiota niille, jotka ovat kiinnostuneita yhteistyömahdollisuuksista CERNin kanssa. Aiheena olivat myös mm. teknologian siirto ja CERNin teolliset tilaukset. CERNistä esityksiä pitivät tutkimusjohtaja Walter Hoogland ja edustava joukko CERNin asiantuntijoita ja projektinjohtajia eri teknologioiden alalta. Seminaariin osallistui toistasataa osanottajaa suomalaisista yliopistoista ja korkeakouluista, ministeriöistä ja teollisuudesta.

Yhteyksiä rakenneltiin myös tieteen puolella, CERNin pääjohtaja Rubbia kutsuttiin puhujaksi 29.–31.3.1990 pidetyille Suomen fyysikkoseuran Fysiikan päiville Tampereella. Rubbia piti esitelmän CERNin tutkimusohjelmasta ja viipyi kokouksessa vajaan päivän.

Rubbia Tampereella Fysiikan päivillä

Rubbian esitelmän yhteydessä 30.3. 1990 tapahtui välikohtaus, jota Tekniikka ja Talous-lehden pakinoitsija perusinsinööri Miettinen kuvaili seuraavasti: ”Mitä seminaarissa tapahtuu, kun aikataulu pettää? Ei mitään, sillä tavallisesti se pettää. Fysiikan päivillä Tampereella kävi toisin. Vetonaulaksi saatu CERNin pääjohtaja puhui aikansa yli. Päivän puheenjohtaja Markus Pessa koki velvollisuudekseen palauttaa nobelisti kuolevaisten riviin. Rubbia ei antanut muistutusten isommin häiritä itseään, vaan jatkoi esitystään. Mutta ei ollut taikinaa Pessakaan, joka kuuluvalla äänellä ja selkein sanoin antoi ymmärtää, että pääjohtajan sopii tukkia turpansa. Vaan silloinpa leimahti italialainen temperamentti. Rubbia löi kesken lauseen paperit tiskiin niin, että paukahti, sanoi että hyvä on, lopetetaan sitten ja ”no questions.”

Rubbia marssi kalvonippu kainalossaan ulos salista, ja me isännät säntäsimme perään. Oven ulkopuolella oli vastassa kaksi toimittajaa, joille Rubbia antoi aivan asiallisesti haastattelun. Sen jälkeen veimme Rubbian kahvilaan, jonne matkalla hän oli vielä tuohtunut ja lausahti kohti kahvilaa kulkiessamme: ”I have never experienced this kind of treatment. With us in Italy the hospitality is sacred.” Fysiikan päivien johtaja, professori Gunnar Graeffe tuli pyytelemään anteeksi ja otti vastuun välikohtauksesta. Päästyämme kahvipöytään Rubbia oli jo rauhoittunut ja saatoimme suunnata keskustelun toisaalle. Mitään jälkipuintia asiasta ei paikan päällä seurannut, Rubbia joutui kiireittensä takia lähtemään paluumatkalle Geneveen heti esityksen jälkeen. Eikä hän jälkeenpäinkään kantanut kaunaa ajan loppumisesta niuhottaville suomalaisille professoreille. Todettakoon, että annetun esitysajan ylittäminen reippaasti oli Rubbialle tyypillistä, sitä sattui vähän väliä isommissakin konferensseissa.

Helsingin yliopiston rehtori Päiviö Tommila, vararehtori Risto Ihamuotila ja matemaattis-luonnontieteellisen osaston dekaani Antti Siivola sekä SEFT:n johtaja Risto Orava vierailivat CERNissä 27.–28.8.1990 ja tutustuivat CERNiin sekä suomalaisten tutkijoitten ja opiskelijoitten toimintaan. Tapio Niinikoski piti esittelyn suomalaisten aktiviteeteista. Keskusteluja CERNin johdon kanssa käytiin yhteistyöhön liittyvistä hallinnollisista asioista.

Suomen eduskunnan ratifioitua syksyllä 1990 Suomen ja CERNin välisen sopimuksen Suomen liittymisestä jäseneksi vuoden 1991 alusta voitiin aloittaa liittymisjuhlallisuuksien valmistelu. CERNin lippusalkoriviin oli

CERNin lippurivistö tammikuun alussa 1991. Suomen lippu kuudentena oikealta. (Kuva CERN)

lipputanko Suomen lippua varten asennettu ja lippu liehui jo tammikuun alkupäivistä lähtien.

Liittymisjuhlallisuudet järjestettiin 28.1.1991 CERNissä. Suomen delegaatiota johtivat opetusministeriön kansliapäällikkö Jaakko Numminen ja Suomen Geneven edustuston päällikkö, suurlähettiläs Antti Hynninen. Pidetyssä juhlatilaisuudessa puhui ensin pääjohtaja Rubbia, joka toivotti Suomen tervetulleeksi ja painotti Suomen CERN-jäsenyyden merkitystä eurooppalaiselle tieteelliselle yhteistyölle. CERNin Neuvoston tanskalainen varapuheenjohtaja professori Brigitte Søde-Mogensen ilmaisi puheessaan neuvoston ja kaikkien jäsenmaiden puolesta ilon siitä, että pohjoismainen yhtenäisyys oli näin saavutettu CERNissäkin. Kansliapäällikkö Numminen sanoi puheessaan, että jäsenyys oli Suomelle suuri tieteellinen ja teknologinen haaste, ja tärkeä tehtävä tiedehallinnolle. Numminen totesi edelleen, että Suomi pyrkii kiinteään yhteistyöhön muiden jäsenmaiden kanssa sekä rakentavaan rooliin CERNin toimielimissä. Erityisen tiiviiseen yhteistyöhön oli tarkoitus pyrkiä muiden pohjoismaiden kanssa. Tilaisuuden päätteeksi Søde-Mogensen nosti Suomen lipun salkoon CERNin lippurivissä yhdessä Nummisen, Rubbian ja Hynnisen kanssa. Lipunnoston jälkeen Suomen delegaatio vieraili DELPHI-kokeelle, jossa kokeen puhemies, Ugo Amaldi esitteli koeasemaa ja DELPHI-kokeen fysiikan tutkimusohjelmaa. Iltapäivän päätteeksi järjestettiin cocktailtilaisuus CERNin päärakennuksessa. Tilaisuuteen ottivat osaa pääjohtaja Rubbia, Suomen delegaatio, edustava joukko CERNin seniorifyysikoita, sekä CERNissä tuolloin työskennelleet suomalaiset fyysikot ja insinöörit. Juhlallisuuksiin osallistuneeseen suomalaiseen delegaatioon

CERNin Neuvoston varapuheenjohtaja Brigitte Søde-Mogensen, kansliapäällikkö Jaakko Numminen, pääjohtaja Carlo Rubbia ja suurlähettiläs Antti Hynninen nostamassa Suomen lippua CERNin lippusalkorivissä. (Kuva CERN)

kuuluivat mm. toimistopäällikkö Matti Lähdeoja, UIT:n pääjohtaja Pekka Tarjanne, kansanedustaja Per Stenbäck, professorit Eero Byckling, Toivo Katila, Mauri Luukkala, Antti Siivola ja Matts Roos sekä dosentit Antti Niemi ja Risto Orava.

Näin oli Suomen CERN-jäsenyys aloitettu ja merkittävä lisäaskel kohti länsi-eurooppalaista tiedeyhteistyötä otettu. Vain puoli vuotta myöhemmin, heinäkuun alusta 1991 Puola liittyi CERNin jäseneksi. Perässä seurasivat ripeään tahtiin Unkari 1.7.1992, Tsekin tasavalta ja Slovakia 1.7.1993. Kaikki nämä entiset sosialistiset maat olivat olleet mukana tutkimustoiminnassa CERNissä jo ennen Suomea 1960-luvulta lähtien.

Suomen liittymisen kunniaksi SEFT ja SEFL järjestivät Heurekatiedekeskuksessa CERN-näyttelyn 8.–16.4.1991. Näyttelyyn oli saatu vieraaksi v. 1990 Nobelin fysiikanpalkinnon hiukkasfysiikassa saanut professori Richard Taylor Stanfordista, joka piti avajaisesitelmän 8.4.1991. CERN toi näyttelynsä Suomeen vielä uudemman kerran keväällä 1998, näyttelyn ollessa pohjoismaiden kiertueella. Näyttely järjestettiin Heurekassa, ja siellä kävi viiden viikon aikana yli 30 000 vierailijaa. Suomen tultua CERNin

Kansliapäällikkö Jaakko Numminen ja CERNin pääjohtaja Carlo Rubbia allekirjoittamassa Suomen CERNiin liittymisasiakirjoja. (Kuva CERN)

Suomen CERN-jäsenyyttä juhlitaan cocktail-tilaisuudessa CERNissä. Kuvassa vasemmalta professori Matts Roos, UIT:n pääjohtaja professori Pekka Tarjanne, dos. Ritva Kinnunen, professori Masud Chaichian, yliassistentti Jorma Tuominiemi, pääjohtaja Carlo Rubbia. Rubbian takana SEFT:n Suomi-toimiston sihteeri, Kirsti Aspola. (Kuva CERN)

jäseneksi European Committee for Future Accelerators (ECFA) kutsui myös suomalaisia tutkijoita jäsenikseen. ECFAn johtoryhmässä (RECFA) Suomen edustajana 1991–1998 toimi Risto Orava. RECFA teki ensimmäisen maavierailunsa Suomeen 11.4.1991. ECFAn puheenjohtajana toimi tuolloin professori Jean-Eudes Augustin Lyonin yliopistosta.

4.6. SEFT-työryhmä ja SEFTin perustaminen 1989–1990

Lähdeojan CERN-työryhmä oli esittänyt 31.3.1989 CERNin jäsenyyttä koskeneessa lausunnossaan erillisen suurenergiafysiikan tutkimuslaboratorion (SEFT) perustamista Helsingin yliopiston yhteyteen. Lausunnon mukaan sen ensisijaisena tehtävänä oli harjoittaa suurenergiafysiikan perustutkimusta, siihen liittyvää soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystoimintaa sekä huolehtia tutkimustiedon siirrosta suurenergiafysiikan kansainvälisten tutkimuskeskusten, erityisesti CERNin ja Suomen korkeakoulujen välillä. Toiminnan perusrungon muodostaisivat tutkimusohjelmat ja projektit. Laboratorion oli määrä toimia joustavassa, toisiaan täydentävässä yhteistyössä Suurenergiafysiikan laitoksen (SEFL) kanssa. Tutkimuslaboratorion erityisenä vastuualueena oli CERN-yhteistyön koordinointi Suomessa. Näin työryhmän mukaan Suurenergiafysiikan laitos voisi silloista selvemmin syventyä hiukkasfysiikan perustutkimukseen ja opetukseen, jotka sille luonnostaan kuuluivat. Kun Suomen hallitus oli 29.8.1989 päättänyt, että Suomi liittyy CERNin jäseneksi, kaavaillun suurenergiafysiikan tutkimuslaboratorion, SEFTin valtakunnallinen asema korostui entisestään.

Helsingin yliopiston konsistori asetti 11.10.1989 työryhmän suunnittelemaan SEFTin perustamista. Työryhmän puheenjohtajaksi nimitettiin dekaani Antti Siivola sekä jäseniksi Helsingin yliopiston hallintojohtaja Timo Esko ja professorit Paul Hoyer ja Mauri Luukkala sekä dosentti Risto Orava. Työryhmän sihteeriksi nimitettiin yliassistentti Jorma Tuominiemi. Tehtäväksi annettiin myös valvoa laitokselle jo osoitettujen varojen käyttöä ja valmistella vuosien 1992–1995 toiminta- ja taloussuunnitelma. Opetusministeriö oli osoittanut vuoden 1990 budjettiin Helsingin yliopistolle SEFTin perustamista varten 4,4 miljoonan markan määrärahan. Määräraha sisälsi johtajan palkkaamiseen käytettäväksi 200 000 markkaa, kulutusmäärärahaksi 3,2 miljoonaa ja laitteisiin 1,0 miljoonaa markkaa. Samalla poistettiin Suomen Akatemian kautta suurenergiafysiikan tutkimushankkeisiin osoitetut määrärahat, jotka oli kanavoitu Hiukkasfysiikan komitean kautta.

Työryhmän aloittaessa työskentelynsä Suomen hallitus oli jo päättänyt anoa CERNin jäseneksi liittymistä. Tämän uuden tilanteen valossa työryhmä kävi läpi eri malleja SEFTin perustamiselle. Se jätti esityksensä konsistorille 6.2.1990. Työryhmän jäsenillä oli jonkin verran toisistaan eriäviä ajatuksia laitoksen toimintamallista, joten jätetty esitys oli kompromissi. Työryhmä

totesi esityksensä pohjaksi seuraavaa: ”Jotta CERNin täysjäsenyyttä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, on CERN-yhteistyötä pyrittävä kehittämään nopeasti kaikilla CERN-työryhmän mainitsemilla sektoreilla. Tämä edellyttää myös Helsingin yliopiston suurenergiafysiikan resurssien tehokasta hyväksikäyttöä, mikä parhaiten voi toteutua, jos resurssit säilytetään mahdollisimman yhtenäisinä.”

Koska SEFTille oli asetettu valtakunnallinen rooli, ehdotettiin sen perustamista Helsingin yliopiston konsistorin alaiseksi erillislaitokseksi. SEFTiin siirrettäisiin matemaattis-luonnontieteellisen osaston alaisesta SEFListä muut kuin opetusvirat ja osastosihteerin virka, eli pääsuunnittelija-jaostopäällikkö, 3 erikoistutkijaa, 2/3 vanhempi suunnittelija, 1 sovellutussuunnittelija, 3 laboratorioinsinööriä, 1 amanuenssi, 1 vanhempi käytönohjelmoija ja erikoislaboratoriomestari. SEFL toimi edelleen osaston alaisena itsenäisenä laitoksena ja siihen jäivät professori (Paul Hoyer), henkilökohtainen professori (Matts Roos), apulaisprofessori (Masud Chaichian), yliassistentti (Jorma Tuominiemi), kuusi assistenttia ja osastosihteeri. Helsingin yliopistossa oli samaan aikaan meneillään erillislaitoksia koskeva selvitystyö ja v. 1989 aloitettu hallinnonuudistuksen valmistelu. Tämän vuoksi SEFT-työryhmä suositteli, että ”uuden hallinnon toteuduttua Helsingin yliopistossa harkitaan SEFTin hallinnollinen asema uudelleen. Tällöin pyritään yhdistämään kaikki suurenergiafysiikan resurssit samaan hallinnolliseen yksikköön. Samalla harkitaan fysiikan laitosten ja erillislaitosten yhdistämistä suuremmiksi hallinnollisiksi kokonaisuuksiksi.” Edelleen todettiin, että SEFT toimi silloisen SEFLin tiloissa Siltavuorenpenkereellä sekä Otaniemen teknologiakylässä. SEFLin kulutus- ja laitemäärärahoista puolet siirrettiin SEFTille.

Risto Orava, SEFTin johtaja 1991–1996.

Helsingin yliopiston konsistori teki päätöksen SEFTin perustamisesta 25.4.1990. Helsingin yliopiston kansleri vahvisti johtosäännön 22.5.1990. SEFT-työryhmä toimi vielä väliaikaisena johtokuntana syksyyn 1990 asti, sen viimeinen kokous pidettiin 12.9.1990. Tämän jälkeen konsistori asetti SEFTille johtokunnan. Puheenjohtajaksi nimettiin vararehtori Risto Ihamuotila, jäseniksi professorit Mårten Brenner (Åbo Akademi), Jorma Hattula (Suomen Akatemia), Toivo Katila (Teknillinen korkeakoulu), Mauri Luukkala (Helsingin yliopisto), Antti Siivola (Helsingin yliopisto), johtaja Simo Makkonen (Teollisuuden keskusliitto), dosentti Risto Orava (SEFT), FT Martti Pimiä (henkilökunnan edustaja, SEFT) sekä apulaisjohtaja Kari Tilli (Tekes). Johtokunnan sihteeriksi nimettiin dosentti Heimo Saarikko. Samalla nimitettiin dosentti Risto Orava laitoksen määräaikaisen johtajan toimeen.

SEFTin johtokunta kokoontui ensimmäisen kerran 7.11.1990. Tässä kokouksessa johtokunta määräsi dosentit Antti Niemen, Risto Oravan ja

Jorma Tuominiemen European Committee for Future Accelerators–järjestön Suomen edustajiksi. CERNin Neuvostoon Suomen edustajiksi opetusministeriö nimitti toimistopäällikkö Matti Lähdeojan ja professori Antti Siivolan.

Helsingin yliopiston hallinnonuudistusvalmistelujen edetessä rehtorinvirasto pyysi keväällä 1991 tiedekunnilta esityksiä laitosten yhdistämisistä. Fysiikan laitoksilla tämä koski SEFLin ja SEFTin yhdistämistä kuten oli ennakoitu. Kysymys oli sikäli monimutkainen, että kyseessä oli tiedekunnan ja konsistorin alaisten laitosten yhdistäminen. Professori Paul Hoyer, joka oli virkavapaalla, näki asian niin, että luontevinta olisi samalla vähentää fysiikan laitosten lukumäärää yhdistämällä opetuslaitokset FL, SEFL ja TFL sekä vastaavasti konsistorin alaiset laitokset SEFT, TFT ja FLT. Koska konsistorin alaiset laitokset eivät olleet matemaattis-luonnontieteellisen osaston päätösvallan alaisia, hän esitti ehdotuksessaan 13.5.1991 osastolle asian käsittelemistä vielä yhteistyössä erityisesti SEFTin johtokunnan virkajärjestelyä pohtimaan asettaman työryhmän (pj. professori R. Ihamuotila) kanssa. Hän piti silti asian käsittelyä kiireellisenä. Muut fysiikan professorit päätyivät yksimielisesti ehdottamaan matemaattis-luonnontieteelliselle osastolle (Mauri Luukkala 16.5.1991) ”jäännös-SEFLin” opetusvirkojen ja itse SEFLin siirtämistä hallinnollisesti Fysiikan laitokseen erillisenä alkeishiukkasfysiikan osastona. Luukkala totesi, että ”Tämä siirros ei tuota sen suurempia hankaluuksia, sillä opetushan on Fysiikan laitoksen ja SEFLin kanssa ollut yhteneväistä perusopetustasolla tähänkin asti. Toisaalta Suurenergiafysiikan osasto voisi jatkaa yhteistyötään SEFTin kanssa kuten ennenkin, joten SEFTin toimintaedellytykset säilyvät tältä osin samoina.”

SEFT-työryhmän puheenjohtajana toiminut professori Antti Siivola jätti 21.5.1991 matemaattis-luonnontieteelliselle osastolle vielä muistion, jossa hän kannatti fysiikan professorien esitystä ja perusteli esitettyä järjestelyä laajemmin. Vs. professori Risto Orava toimitti puolestaan 27.5.1991 osastolle muistion, jossa hän esitti että ”suurenergiafysiikan laitokseen (SEFL) v. 1990 toistaiseksi jätetyt resurssit kokonaisuudessaan yhdistettäisiin suurenergiafysiikan tutkimuslaitokseen (SEFT).” Tämä oli myös SEFLin ja SEFTin henkilökunnan kokouksessaan äänestämä kanta.

Matemaattis-luonnontieteellinen osasto käsitteli SEFLin jakoa kokouksessaan 30.5.1991. Asiasta käydyssä keskustelussa vs. professori Risto Orava esitti, että suurenergiafysiikan laitoksen asemasta vielä hankittaisiin lisäselvityksiä ja asia pantaisiin pöydälle. Tehdyssä äänestyksessä asian käsittelyn jatkaminen kokouksessa hyväksyttiin äänin 23–11. Jatkokeskustelun jälkeen suoritetussa äänestyksessä 36 osaston jäsentä kannatti professori Luukkalan esitystä. Vs. professori Orava jäi yksin kannattamaan esitystään, jonka mukaan suurenergiafysiikan laitoksen jäljellä olevat voimavarat kokonaisuudessaan yhdistettäisiin suurenergiafysiikan tutkimuslaitokseen.

Keskustelu SEFLin jaosta jatkui. SEFLin ja FL:n esimiehet esittivät 26.8.1991, että korkeintaan kolme ”jäännös-SEFLin” kuudesta opetusassistenttiviroista voitaisiin vielä siirtää SEFTiin, lopun kolmen siirtyessä profes-

sorin, apulaisprofessorin ja yliassistentin virkojen kanssa Fysiikan laitokseen. Pian tämän jälkeen SEFLin laitoskokouksessa 4.9.1991 henkilökunta esitti puolestaan äänestyksen jälkeen, että kaikki muut paitsi professorin ja apulaisprofessorin virat siirrettäisiin SEFTiin. Virkavapaalta palannut SEFLin esimies Paul Hoyer pysyi kannassaan 26.8.1991 esitetystä jaosta ja esitti osastolle sen toteuttamista. Loppujen lopuksi yliopiston konsistori päätti 25.9.1991 jaosta FL:n professoreiden esityksen mukaisesti, eli kolme assistentin virkaa siirrettiin SEFTiin. Asia oli loppuun käsitelty. SEFLiin jäivät FT Ritva Kinnusen virka sekä kaksi täytettävänä olevaa assistentin virkaa. ”Jäännös-SEFLin” nimeksi Fysiikan laitoksessa tuli Suurenergiafysiikan laboratorio, lyhennys SEFL siis säilyi.

CERN kiinnitti SEFTin johtajan R. Oravan henkilökuntaansa ajalle 1992–1994 Suomen ja CERNin yhteistyöhön liittyvien asioiden hoitamista varten. Paula Eerola, joka oli saanut CERNin Fellow-paikan vuosiksi 1991–93, kiinnitettiin CERNin henkilökuntaan ajalle 1993–1996. SEFT ja Hiukkasteknologian instituutti (kts. seuraava luku) perustivat CERNiin ”Suomi-toimiston” auttamaan CERNissä vierailevia suomalaisia tutkijoita käytännön asioissa ja tutkimukseen liittyvissä hallinnollisissa proseduureissa. Toimiston henkilökunta käsitti kaksi sihteeriä. Pitkäaikaiseksi pääsihteeriksi tuli v. 1994 Marika Flygar.

4.7. TKK:n Hiukkasteknologian instituutti 1990–1996

Teknillisen korkeakoulun rehtori Paavo Uronen asetti syksyllä 1989 työryhmän, jonka tehtävänä oli selvittää TKK:n valmiuksia osallistua CERN-toimintaan Suomen liityttyä jäseneksi. Työryhmän puheenjohtajana toimi professori Toivo Katila ja jäseninä TkT Pertti Aarnio, professori Eero Byckling, professori Tapani Jokinen, tekn.yo M. Misukka, professori Jari Sinkkonen ja sihteerinä DI Markus Nordberg. Työryhmän suosituksesta TKK:n hallitus päätti kokouksessaan 14.12.1990 perustaa Hiukkasteknologian instituutin (HTI) TKK:n yhteyteen. Dosentti Antti Niemi nimitettiin HTI:n johtajaksi. Niemen siirryttyä Uppsalan yliopiston professoriksi 1.9.1992, johtajaksi nimitettiin professori Eero Byckling ja varajohtajaksi TkT Peter Berglund. HTI sijoitettiin TKK:n Teknillisen fysiikan osaston yhteyteen. Lisäksi sillä oli työtilat CERNissä, jossa pääosa henkilökunnasta työskenteli.

HTI:n toiminta-ajatuksena oli Suomen kannalta tärkeiden CERNin toimintaan liittyvien teknillisten alojen kehittäminen. Sen tehtäväksi asetettiin korkeakoulussa olevan teknologisen osaamisen hyödyntäminen CERNin tieteellisten tavoitteiden tukemisessa ja korkeatasoisen, Suomessa hyödynnettävissä olevan tiedon luomiseksi. Lisäksi instituutin tehtävänä oli hiukkasfysiikan ja kiihdytinkokeiden kokeellisten menetelmien opetus TKK:ssa.

Instituutin toiminnasta määräsi johtoryhmä, johon kuuluivat HTI:n toimintaan osallistuvien laboratorioiden edustajat. Vuonna 1992 johtoryh-

män jäseninä olivat TkT Peter Berglund, professorit Eero Byckling, Aarne Halme, Pekka Hautojärvi, Tapani Jokinen, Toivo Katila (puheenjohtaja), Matti Kleimola, Lauri Niinistö, Rainer Salomaa ja Juha Sinkkonen.

Tärkeimmät HTI:ssä käynnistetyt projektit olivat osallistuminen LHC:n suprajohtavien magneettien kehittämiseen (projektipäällikkönä Eero Byckling), dilutiojäähdytyslaitteiston rakentaminen CERNissä tehtäviin polarisoituja kohtioita käyttäviin kokeisiin (projektipäällikkönä Peter Berglund), LHC:lle suunnitteilla olevan CMS-kokeen keskusratakammion mekaanisen rakenteen suunnittelu ja prototyyppien rakentaminen (projektipäällikkönä TkL Kalevi Ekman 1991–1994, TkL Pekka Salonen 1994–1995, TkL Miikka Kotamäki 1995–1996) sekä hajautetut projektien suunnittelujärjestelmät (projektipäällikkönä aluksi DI Juha Lappalainen, sittemmin TkL Ari-Pekka Hameri).

LHC-dipolimagneetin prototyypin rakennusprojekti käynnistettiin v. 1992 alussa yhteistyössä CERNin ja Uppsalan yliopiston kanssa. CERNin pääjohtaja Carlo Rubbia oli v. 1991 tarjonnut Suomelle mahdollisuutta osallistua LHC-törmäyttimen suprajohteisten dipolimagneettien kehitystyöhön. Ne suunniteltiin pääasiassa CERNissä. Mukana oli insinöörejä TKK:sta ja Uppsalan yliopistosta. Projektin teknillisenä vastuuhenkilönä HTI:ssa toimi TkT Matti Savelainen. Magneetin komponentteja valmistettiin Suomessa ja Ruotsissa. Työ rahoitettiin paikallisilla määrärahoilla, Suomessa Tekesin tuella. Suprajohtavien niobium-titaani-kelojen valmistus, dipolin kokoaminen ja testit tehtiin CERNissä. Valmiin prototyypin testit tehtiin heinäkuussa 1995. Tavoitteena ollut 8,9 Teslan kenttä saavutettiin kolmen virtasyklin jälkeen kelojen lämpötilan ollessa 2K.

TKK:ssa rakennettu dilutiokryostaatti asennettiin SMC-kokeeseen keväällä 1993, sen suprajohteisen magneetin yhteyteen. Kyseessä oli silloin maailman suurin polarisoitu kohtio. HTI liittyi SMC-kokeeseen osallistujainstituuttina, joka huolehti kohtion toiminnasta. Projektista vastasi TKK:n kylmälaboratorio ja sen projektipäällikkönä toimi Peter Berglund.

CMS-kokeen keskusratailmaisinsysteemin tukirakennetta suunniteltiin TKK:lla ja CERNissä. CERNin ryhmää johti alusta alkaen Dr. Mike Price CERNistä. Helsingissä työtä johti Pekka Salonen. Salosen siirryttyä teollisuuden palvelukseen projektia ryhtyi johtamaan TkL Miikka Kotamäki. Projektiin palkattiin TKK:n opiskelijoita, kuten Antti Onnela (DI 1993), Tommi Nyman (DI 1995), Nina Salminen (DI 1994) ja Maarit Rytty (DI 1996), jotka tutkivat eri aiheita rakenteen suunnittelussa. Onnela siirtyi v. 1992 CERNiin, jossa hän työskenteli CERNin Fellow-stipendillä 1993–1995. Vuonna 1995 hänet palkattiin CERNin henkilökuntaan. Vuonna 1995 koko tukirakennetoiminta siirtyi CERNiin ja Kotamäki, Nyman ja Rytty jatkoivat työskentelyään siellä. Vuonna 1996 HTI:n ryhmä yhdessä CERNin ryhmän kanssa päätyivät kahden prototyypin (B1 ja Big Wheel) rakentamiseen, joiden testaus suunniteltiin tehtäväksi v. 1997. Prototyypit olivat hiilikuiturakenteita, joilla voitiin testata lopullista mekaanista rakennetta.

5. Kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimushallinnon järjestelyt 1990-luvulla

5.1. SEFT 1990–1996, SEFTin toimintamallin ongelmat

SEFT aloitti toimintansa v. 1990, jolloin hiukkasfysiikan kokeellisen tutkimuksen hallinnolliset kuviot muuttuivat täysin ja alettiin muodostaa uusia käytäntöjä. SEFTin johtosäännön mukaan laitoksen perustehtäviin kuului perustutkimuksen ja siihen liittyvän kehitystyön lisäksi Suomen CERN-yhteistyön kehittäminen ja koordinointi. SEFTin perustamista käsitelleen työryhmän ehdotuksessa SEFTin johtosäännöksi SEFTin johtokunnan tehtävänä on ”osoittaa erityinen määräraha kansainväliseen yhteistyöhön kokeellisen ja teoreettisen hiukkasfysiikan alalla ja päättää sen jakamisesta”. Tämä tuli Helsingin yliopiston kanslerin, professori Olli Lehdon 22.5.1990 hyväksymään johtosääntöön. Hiukkasfysiikan tutkimuksen kokonaisrahoitusta suunniteltiin Suomen Akatemian, yliopistojen sekä SEFTin yhdessä hoidettavaksi. Vuoden 1991 taloussuunnitelmaa valmisteltaessa SEFTin johtokunta asetti asiantuntijaryhmän, jonka tehtävänä oli arvioida kaikki SEFTille esitetyt tutkimushankeanomukset. Ryhmän jäseninä olivat professori Mårten Brenner, apul.professori Jorma Hattula, dos. Antti Niemi ja dos. Risto Orava. Ryhmän ehdottamien SEFTin rahoittamien tutkimusprojektien johtajilla oli vastuu niille osoitettujen määrärahojen käytöstä SEFTin toimintasuunnitelman puitteissa ja he raportoivat toiminnasta SEFTin johtajalle.

Suomen Akatemian luonnontieteellinen toimikunta lakkautti v. 1991 vuodesta 1968 toimineen Hiukkasfysiikan komitean ja siirsi hiukkasfysiikan tutkimuksen rahoituksen kokonaan SEFTille. Tämän jälkeen SEFTin ulkopuolelta esitetyille tutkimusprojekteille voitiin saada vain vähäisessä määrin rahoitusta Suomen Akatemialta. SEFTin myöntämä rahoitus oli siten ratkaisevan tärkeää hiukkasfysiikan kokeelliselle tutkimukselle Suomessa.

SEFTin johtosääntöä muutettiin konsistorin esityksestä 31.12.1991. Siinä johtokunnan tehtäväksi jäi ”päättää määrärahojen käytön suuntaviivat ja hyväksyä toimintasuunnitelmat”. SEFTin tehtävänä oli myös edistää kokeellisen hiukkasfysiikan menetelmien ja laiterakennuksesta koituvan hyödyn kanavoiminen eri korkeakouluihin, tutkimuslaitoksiin ja teollisuuteen. Tästä johtuen SEFTin johtokunnan kokoonpano muodostui sellaiseksi, ettei sen kaikilla jäsenillä ollut riittävää asiantuntemusta päättää hiukkasfysiikan perustutkimuksen projekteista. Johtosäännön muutoksen yhteydessä jätettiin kokonaan määrittelemättä vastuu erityisen määrärahan osoittamisesta kansainväliseen yhteistyöhön kokeellisen ja teoreettisen hiukkasfysiikan alalla ja päättäminen sen jakamisesta. Ei muodostettu mitään ulkopuolista asiantuntijaryhmää SEFTille tehtyjen hiukkasfysiikan perustutkimusprojektien rahoitusta koskevien esitysten käsittelyä varten. Niistä päättäminen jäi kokonaan SEFTin johtajan tehtäväksi. Johtaja Orava puolestaan omaksui kannan, että muiden kuin SEFTin tutkijoiden esittämien tutkimusprojektien rahoituksen piti tulla pääasiassa SEFTin ulkopuolelta. Muun muassa CERNin pääjohtajan CERNin tieteellisiin komiteoihin kutsumien suomalaisten senioritutkijoiden

matkakustannuksiin ei johtajan päätöksellä myönnetty ensin tukea, vaikka ne liittyivät nimenomaan SEFTin mandaattiin CERN–Suomi-yhteistyössä. Asiaan saatiin korjaus vasta v. 1993 lopulla.

Vuoden 1992 varainkäyttösuunnitelmassa suurenergiafysiikan projekteille jaettiin määrärahoja SEFTin johtajan esityksestä johtokunnan päätöksellä seuraavien otsikoiden alle: DELPHI-projekti (1,19 milj. mk), CMS-projekti (1,392 milj.mk) ja ”muut” (0,07 milj.mk). Määrärahojen jako yksittäisille projekteille tehtiin SEFTin johtajan harkinnan mukaan. Tilanne alkoi nostaa kasvavaa kritiikkiä tutkimushankkeita esittäneiden tutkijoiden keskuudessa.

Määrärahojen jakomenettelystä huolestuneena Tuominiemi otti huhtikuussa 1992 yhteyttä SEFTin johtokunnan puheenjohtajaan, vararehtori Risto Ihamuotilaan ja esitti SEFTin aseman selventämistä hiukkasfysiikan perustutkimuksen rahoituksessa Suomessa. Hän ehdotti kirjelmässään, että SEFTille asetettaisiin alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti asiantuntijaryhmä, joka tekisi esitetyistä projektianomuksista vertaisarvioinnin ja ehdotukset niiden rahoituksesta SEFTin johtajalle. Samat argumentit toistet-

Tuominiemen kirje Ihamuotilalle 3.4.1992

Kirjeessä esitettiin mm. seuraavaa: ”Suomen liityttyä CERNiin perustettiin SEFT, jonka tehtäväksi annettiin suurenergiafysiikan tutkimuksen koordinointi Suomessa. Koko Suomen Akatemian hiukkasfysiikan budjetti siirrettiin sille. Aikaisempaan tilanteeseen uutena piirteenä tuli nyt mukaan myös se, että SEFTin oli huolehdittava paitsi alan tutkimuksesta, myös teknologian siirrosta CERNin ja Suomen välillä.” Asia [projektiesitysten tieteellinen arviointi] oli esillä SEFTin johtokunnassa v. 1991 taloussuunnitelmaa valmisteltaessa ja se ratkaistiin silloin tilapäisesti asettamalla fyysikoista koostuva valmisteluryhmä, johon kuuluivat prof. M. Brenner, apul.prof. J. Hattula, dos. A. Niemi ja dos. R. Orava. Tämän jälkeen asia ei tietääkseni ole ollut esillä johtokunnassa ja vuoden 1992 budjetin valmistelussa ei peer review -arviointia ole tehty.”

”Toinen tutkimuksen tieteellisen tason kannalta tärkeä asia on suomalaisten projektien organisointi. Aiemmin Suomen Akatemia osoitti määrärahat tutkimusprojekteille, joilla oli tulosvastuu. Projekteille nimitettiin vastuullinen johtaja, joka raportoi luonnontieteelliselle toimikunnalle. Projekteihin kuului silloin kuten nytkin useita laitoksia. Tutkimusprojektien sujuvan ja tehokkaan toiminnan kannalta oli tärkeää, että niillä oli käytännön toimintavaltuudet. Järjestelmä toimi hyvin, kuten esim. 80-luvun tuloksista voidaan todeta. Nyt pääosa hiukkasfysiikan rahoituksesta ohjataan SEFTin kautta, joka myös itse harjoittaa tutkimusta. Tämän vuoksi tilanne on erilainen kuin ennen ja aiheuttaa sekaannusta. Moniin suurenergiafysiikan tutkimusprojekteihin kuuluu SEFTin lisäksi useita laitoksia, myös muista suomalaisista yliopistoista. Siksi entistä, hyvin toiminutta järjestelmää ei pitäisi muuttaa. Tällainen järjestely toteutuikin viime vuonna. Tutkimusryhmien johtajilla oli vastuu niille osoitettujen määrärahojen käytöstä toimintasuunnitelmien pohjalta ja ne raportoivat SEFTin johtajalle. Vuoden 1992 talous- ja toimintasuunnitelmasta en pysty kuitenkaan toteamaan, että niin tultaisiin menettelemään myös vastaisuudessa.”

tiin Tuominiemen ja professori Paul Hoyerin toukokuussa 1992 laatimassa kirjeessä vararehtori Ihamuotilalle. He kirjoittivat: ”Jotta SEFTin valtakunnallinen koordinointi suurenergiafysiikan tutkimuksessa tulisi korrektisti hoidettua, ehdotamme että SEFT pyytää julkisesti tutkimusesitykset vuoden 1993 budjetin laadintaa varten. Näistä esityksistä SEFTin olisi pyydettävä tieteellinen arviointi, jonka perusteella se voisi tehdä esityksen tutkimuksen rahoittamisesta v. 1993.” Näin sitten meneteltiinkin, hiukkasfysiikan määrärahat vuoden 1993 toiminta- ja taloussuunnitelmaa varten julistettiin syksyllä 1992 valtakunnallisesti haettavaksi. Suunnitelmana oli myös kansainvälisen arviointiryhmän perustaminen. Tämä ei kuitenkaan edelleenkään toteutunut ja v. 1993 suunnitelman laadinta meni entiseen tapaan, hakemuksia ei arvioitu ulkopuolisten asiantuntijoiden avulla vaan niistä päätökset teki johtaja.

SEFTin fyysikkoja oli liittynyt vuonna 1992 LHC-törmäyttimelle suunnitteilla olleista tutkimushankkeista CMS-projektin lisäksi myös ATLAS- ja L3P-projekteihin. Kun CMS- ja L3P-ehdotusten yhdistämisneuvottelut eivät onnistuneet, johtaja Orava ilmoitti huhtikuussa 1993 CMS-kollaboraation puhemiehelle Dr. Della Negralle, että SEFT jatkaa osallistumista L3P-koeehdotukseen, mutta ei resurssien puutteen vuoksi voi osallistua SEFT CMS-hankkeeseen. Hän kuitenkin ilmoitti Della Negralle myös, että yksittäiset tutkijat SEFTistä voivat jatkaa työtään CMS-hankkeessa toistaiseksi. Tämä tapahtui juuri ennen CERNin LHC-komitean kokousta huhtikuussa 1993, jossa komitea teki lopulliset suosituksensa LHC-tutkimusohjelmasta CERNin johdolle. CERNin päätöksiin LHC-kokeista palataan tarkemmin luvussa 7.5. Kun CERN oli haudannut L3P-hankkeen kesäkuussa 1993, Orava päätti SEFTin liittymisestä LEP-törmäyttimen L3-kokeeseen, jota johti professori S.C.C. Ting, L3P-suunnitelman puhemies. Näin SEFT oli mukana kahdessa LEP-kokeessa, mikä herätti huomiota DELPHI-kokeen johdossa. Tässä vaiheessa senioritutkijoiden huoli tilanteesta alkoi entisestään kasvaa. Professorit Paul Hoyer ja Keijo Kajantie ottivat yhteyttä SEFTin johtokunnan puheenjohtajaan professori Jorma Routtiin ja esittivät kysymyksiä SEFTin johtajan toiminnasta. Keskustelin syntyneistä ongelmista useaan otteeseen professori Routin kanssa ja lähetin hänelle kopion edelliselle puheenjohtajalle lähettämästäni kirjeestä. Tyytymättömyyttä Risto Oravan toimintaan esiintyi myös CERNissä.

Johtaja Orava ja CMS:n puhemies Della Negra tapasivat elokuun lopussa 1993. Tämän jälkeen SEFTin tutkijat Mika Huhtinen, Veikko Karimäki, Juha Kuuri ja Martti Pimiä tekivät 13.10.1993 yhdessä SEFLin, TKK:n, Jyväskylän yliopiston, Tampereen Teknillisen korkeakoulun ja Oulun yliopiston CMS-projektissa jo työskentelevien tutkijoiden kanssa projektiesityksen SEFTin uudelleen liittymiseksi CMS-kokeeseen. Tässä vaiheessa myös professori Kajantie otti yhteyttä pj. Routtiin ja painotti, että SEFTin johtokunnan oli ilman varauksia ja viivyttelemättä tehtävä päätös CMS-kokeeseen liittymisestä. Myös SEFTin senioritutkijat Martti Pimiä ja Veikko Karimäki sekä SEFLin

Kirjeenvaihtoa CMS:n ja SEFTin johdon välillä

SEFTin johtokunnan kokous 19.4.1993, Pöytäkirjan kohta 7. Muut asiat:

V.Karimäki jakoi pöydälle CERNin LHC/CMS -hankkeen puhemiehen Michel Della Negran SEFTin johtokunnalle osoittaman kirjeen, jossa SEFT kutsuttiin jatkamaan osallistumistaan CMS-kokeeseen. Kirjeen sisällöstä oli päätetty CMS-projektin johtoryhmän kokouksessa CERNissä 16.4.1993. Della Negra korosti kirjeessään useiden suomalaisten seniorifyysikoitten merkittävää roolia CMS-kokeen suunnittelussa sen alusta asti. Keskustelun jälkeen johtokunta valtuutti SEFTin johtajan vastaamaan Della Negran kirjeeseen: "Vastauskirjeessä tulee asiallisesti todeta, että Della Negran kirjettä on alustavasti käsitelty johtokunnassa ja suomalaiset tutkijaryhmät käyvät SEFTin johtajan koordinoimana edelleen keskustelua Suomen suurenergiafysiikan tutkimuksen linjanvedoista."

Johtokunnan päätöksen mukaista vastauskirjettä Della Negralle ei koskaan lähetetty. Sen sijaan johtaja Risto Orava lähetti CERNin pääjohtaja Carlo Rubbialle 23.4.1993 kirjeen, jossa hän kritisoi Della Negraa SEFTin johtajan ohittamisesta ja syytti tätä SEFTin sisäisiin asioihin puuttumisesta. Kirje oli osoitettu tiedoksi myös Della Negralle.

Della Negra vastasi Oravalle 30.5.1993. Kirjeessään hän pahoitteli, että oli antanut aihetta väärille tulkinnoille tarkoituksestaan. Hän toisti CMS-kollaboraation kiinnostuksen saada SEFT mukaan Technical Report -vaiheeseen ja toivoi mahdollisuutta keskustella Oravan kanssa asiasta. Kirje oli osoitettu tiedoksi J. Routille, SEFTin johtokunnan jäsenille, pääjohtaja Rubbialle, CERNin tutkimusjohtajalle W. Hooglandille, LHC-komitean puheenjohtajalle J.J. Aubertille ja CMS:n refereelle professori L. Foálle.

esimies ja SEFTin johtokunnan jäsen professori Matts Roos ryhtyivät tarmokkaasti vaikuttamaan v. 1994 toimintasuunnitelmaan. Karimäki ja Pimiä jättivät 19.11.1993 SEFTin johtokunnalle muistion, jossa he esittivät "yhdeksän rakentavaksi tarkoitettua ehdotusta SEFTin projektihallinnan selkeyttämiseksi ja seurannan yksinkertaistamiseksi". Karimäki, Pimiä, dos. Ritva Kinnunen ja Jorma Tuominiemi toimittivat tämän muistion myös rehtori Risto Ihamuotilalle tavatessaan hänet tammikuussa 1994. He esittivät rehtori Ihamuotilalle jättämässään kirjelmässä: "Aktiivisesti suurenergiafysiikan tutkimusta Helsingin yliopistossa tekevinä opettajina ja tutkijoina olemme vakavasti huolissamme tavasta, jolla SEFTiä tällä hetkellä johdetaan. SEFTin toiminnan tuloksellisuuden takaamiseksi on erittäin tärkeää, että nykyiseen toimintatapaan saadaan välittömästi muutos. Oheisessa muistiossa esitetyt toimenpiteet on toteutettava jo v. 1994 toimintasuunnitelmaa hyväksyttäessä."

SEFTin johtokunnan 1.2.1994 hyväksymään projektirakenteeseen vuodelle 1994 tuli enemmän selkeyttä. Hiukkasfysiikan tutkimusprojekteja ei enää niputettu LEP- tai LHC-nimikkeen alle, vaan yksittäiset tutkimusprojektit saivat toimintasuunnitelmassa nimen ja projektivastaavat sekä budjetin. Projektien johtaminen määriteltiin asianmukaisesti vastuineen. Samalla

SEFT liittyi uudelleen CMS-kokeen suunnitteluun. Seuraavat kokeellisen fysiikan projektit muodostettiin:

DEPLHI	projektipäällikkönä dos. Heimo Saarikko (FL)
L3	projektipäällikkönä PhD Costas Spartiotis (SEFT)
ATLAS	projektipäällikkönä FT Mikko Laakso (SEFT)
CMS	projektipäällikkönä yliassistentti Jorma Tuominiemi (SEFL)

Vuoden 1994 projekteista päättäessään johtokunnassa virisi keskustelu SEFTin johtokunnan roolista ja työskentelytavoista. Osa jäsenistä oli tyytymättömiä kokousten etenemistapaan ja kritisoi sitä, että johtokunta joutui käsittelemään laitoksen toimivan johdon päätösvaltaan kuuluvia asioita. Johdon päätösvallan käytöstä ei keskusteltu.

Vuoden 1995 projektimäärärahat julistettiin haettavaksi. Tilanne selkeytyi, mutta projektien rahoitus kohtasi edelleen vaikeuksia. SEFTin budjetti oli vv. 1992–94 tiukka Suomen kiristyneen taloustilanteen vuoksi. SEFTin laajaksi kasvaneita toimintoja ei karsittu vastaavasti. Laitos ajautui talousvaikeuksiin, joihin Helsingin yliopiston taloushallinto puuttui v. 1994 kesällä. Hallintojohtajan toimeksiannosta yliopiston sisäinen tarkastaja Tarja Tirri teki selvityksen SEFTin toiminnasta vuosilta 1993–1994. Selvitys jätettiin johtokunnalle 12.12.1994. Siinä käytiin läpi SEFTin hallinnossa, taloudessa ja organisoinnissa esiintyviä epäkohtia ja esitettiin useita ehdotuksia niiden korjaamiseksi. Selvityksessä katsottiin, että yliopiston johdon ja SEFTin johdon vastuut olivat epäselvästi järjestettyjä. Laitoksen johto neuvotteli suoraan opetusministeriön kanssa ratkaisuista ja periaatteista, joihin yliopisto ei ollut voinut ottaa kantaa. Kaikki ehdotukset eivät olleet tulleet yliopiston johdon tietoon. Tämän epäkohdan korjaamiseksi selvitys esitti, että hallinnollisista periaatteista sovittaisiin tarkemmin mahdollisim-

SEFTin johtokunta 1994

SEFTin johtokuntaan kuuluivat v. 1994

yliasiamies, professori Jorma Routti (puheenjohtaja, SITRA)

vararehtori Jorma Hattula (varapj, JY)

FT Katri Huitu (henkilökunnan edustaja)

vararehtori Toivo Katila (TKK),

jaostopäällikkö Veikko Karimäki (SEFTin henkilökunnan edustaja)

johtaja Simo Makkonen (Suomen Metalli-, Kone- ja Sähköteknillisen Teollisuuden Keskusliitto)

teknologiajohtaja Yrjö Neuvo (Nokia yhtymä)

professori Antti Niemi (TFT)

professori Matts Roos (SEFL)

dekaani Antti Siivola (FL)

ja varajäseninä

osastopäällikkö Hannele Pohjola (Teollisuuden ja Työnantajien Keskusliitto)

professori Heikki Koivo (TTKK)

apulaisjohtaja Kari Tilli (Tekes)

vs.professori Jukka Maalampi (TFL)

apul.professori Esko Suhonen (OY)

professori Eero Byckling (TKK)

erikoistutkija Martti Pimiä (SEFTin henkilökunnan edustaja)

professori Keijo Kajantie (TFL)

sovellutussuunnittelija Martti Voutilainen (SEFTin henkilökunnan edustaja)

Sihteereinä toimivat

dos. Heimo Saarikko (FL)

sihteeri Elina Aulis (SEFT)

man pian OPM:n ja Helsingin yliopiston kesken. Lopuksi tarkastaja Tirrin mielestä SEFTin johtaja Risto Oravalle olisi annettava huomautus huonosta hallinnosta. Marraskuussa 1994 SEFTin varajohtajana ja hallintopäällikkönä toiminut dos. Esko Pietarinen erosi varajohtajan tehtävästä ja laati oman kriittisen selvityksensä SEFTin talousvaikeuksista ja hallinnon epäselvyyksistä. Hän osoitti sen johtokunnalle, joka ei kuitenkaan ottanut sitä käsittelyyn. Erään johtokunnan jäsenen mukaan selvityksen käsittelystä kieltäydyttiin selvitystä halventavin termein.

Joulukuussa 1994 kvestori Marja Nikkarinen ja hallintojohtaja Sinikka Mertanen katsoivat, että SEFTin johto ei ollut tehnyt vuoden 1994 aikana vaadittuja parannuksia laitoksen hallinnoinnissa. He esittivät rehtori Ihamuotilalle, että Risto Oravalle annettaisiin huomautus laitoksen hallinnon ja talouden huonosta hoidosta. Rehtori päätti tämän mukaisesti 17.1.1995 (päätös no. 15/95). Samalla rehtori päätti, että SEFTille myönnettiin määrärahat hallintopäällikön vakanssia varten. Hallintopäälliköksi rehtori nimitti hallintonotaari Paula Harviman.

Taloustilanne jatkui edelleen selvittämättömänä ja yliopiston keskushallinto pidätti 2 milj. mk lisämäärärahan SEFTin budjetista vuodelle 1995, kunnes tilanne selviäisi. Uusi hallintopäällikkö Harvima erosi kolmen kuukauden yrittämisen jälkeen viitaten yhteistyön puutteeseen SEFTin johtaja Oravan kanssa. Rehtori nimitti uudeksi hallintopäälliköksi 1.6. 1995 lähtien yliopiston hallinnossa kokeneen hallintotoimiston sihteerin Jukka Petäsen. Taloustilanteen selvitykset jatkuivat edelleen. Vuoden 1994 tilinpäätös saatiin hyväksyttyä johtokunnan kokouksessa toukokuussa 1995. Uudelle hallintopäällikölle annettiin samalla täysi mandaatti selvittää vuoden 1995 tilanteeseen liittyvät kysymykset. Selvityksen tuloksista tuli raportoida yliopiston keskushallinnolle.

5.2. SEFTin ja Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitoksen yhdistämishanke v. 1993

Vuoden 1993 alussa kokeellisen hiukkasfysiikan organisointiin Suomessa kietoutui sen ulkopuolinen hanke, ns. ”Universitas renovata”. Helsingin yliopisto oli v. 1991 käynnistänyt selvityksiä siitä, miten pieniä ainelaitoksia voitaisiin yhdistää paremman kustannustehokkuuden saavuttamiseksi. Asiaa tutkimaan asetettiin toimikunta, jota veti vararehtori Arto Mustajoki. Työn tuloksena julkaistiin vuoden 1993 alussa raportti ”Universitas renovata”, jossa mm. ehdotettiin SEFTin ja Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitoksen yhdistämistä. TFT:n johtokunta suhtautui esitykseen heti kriittisesti. Se järjesti keväällä 1993 kansainvälisen evaluaation TFT:n tutkimuksesta laitoksen tutkimuksen tason selvittämiseksi. Arvioinnin tekijät pitivät tasoa korkeana ja TFT:n johtokunta katsoi, ettei sen yhdistäminen muuhun laitokseen tulisi johtamaan ta-

son nostamiseen. Yliopiston konsistori kuitenkin päätti 26.5.1993, että SEFT ja TFT yhdistetään ja niistä muodostetaan uusi konsistorin alainen fysiikan erillislaitos 1.1.1994 lähtien. Samalla asetettiin työryhmä selvittämään yhdistämiseen liittyviä käytännön yksityiskohtia. Työryhmän puheenjohtajaksi nimitettiin vararehtori Mustajoki. Ryhmän jäseninä olivat dos. Tapio Ala-Nissilä (TFT:n henkilökunnan edustajana), TFT:n johtaja professori Kimmo Kaski, SEFTin johtaja Risto Orava, dos. Esko Pietarinen (SEFTin henkilökunnan edustajana), dekaani Antti Siivola, toimistopäällikkö Simo Suulamo ja sihteerinä TFT:n hallintopäällikkö Erkki Pajanne. Fysiikan laitos ja Teoreettisen fysiikan laitos eivät olleet edustettuina.

Heti tämän jälkeen myös SEFT järjesti kansainvälisen arvioinnin toiminnastaan. Neuvoa-antavan asiantuntijaryhmän perustamisesta päätettiin SEFTin johtokunnan kokouksessa 7.6.1993. Ryhmän jäseniksi tulivat professori S.C.C. Ting (MIT, nobelisti), professori Leon Lederman (Chicagon yliopisto, entinen Fermilabin johtaja, nobelisti), professori Herwig Schopper (entinen CERNin pääjohtaja), Dr. Georges Charpak (eläkkeellä oleva CERNin fyysikko, nobelisti) ja professori Sven Kullander (Uppsalan yliopisto). Ryhmä toimi nopeasti, Ting ja Schopper vierailivat Suomessa ja kirjoittivat lopullisen lausunnon paikan päällä. Se on päivätty 18.6.1993. Raportin alussa ryhmä toteaa:

> ”We have been asked by the Board of SEFT to assess the quality and status of the Research and Development program (R&D) and educational program of SEFT. Due to the relatively short notice, we base our statements on our individual experience, personal contacts with SEFT personnel and the statistics supplied to us by the institute.”

Ryhmän tekemä arviointi oli erittäin positiivinen ja antoi sinänsä hyvän selvityksen SEFTin toiminnasta. Se keskittyi kuitenkin arvioimaan laajasti johtajan pätevyyttä, lainkaan mainitsematta tutkijoita, joiden rooli SEFTin menestyksessä oli oleellinen. Suomalaisten senioritutkijoiden parissa lausunto leimattiin pian tilatuksi, sillä sen päälaatijat katsottiin jääveiksi Risto Oravan toiminnan arvioinnissa. Orava oli tässä vaiheessa mm. Tingin johtaman L3-kokeen aktiivinen jäsen ja Schopper L3-kollaboraation jäsen. Orava oli esittänyt SEFTin osallistumista merkittävällä panoksella L3-kokeen Tracker-ilmaisimen parannusohjelmaan. Jääviysongelmaan oli kiinnitetty SEFTin johtokunnan huomiota jo arviointiryhmää nimitettäessä. Professori Keijo Kajantie kommentoi asiaa puheenjohtaja Routille lähettämässään kirjeessä

Professori Olli Lounasmaan kommentti SEFTin arvioinnista

Professori Lounasmaa vieraili CERNissä 4.–5.11.1993 tapaamassa Tapio Niinikoskea ja Peter Berglundia SMC-kokeella. Keskustelussa J. Tuominiemen kanssa Lounasmaa totesi arviointiryhmän raportista: ”Törkeä ostettu mainos, jonka Routti nieli karvoineen päivineen.”

2.6.1993: ”Jos asiantuntijaryhmältä pyydetään arviota SEFTin harjoittamasta tutkimustoiminnasta jne., siinä ei saa olla mukana SEFTin kanssa yhteistyössä olevia henkilöitä. Voisit pyytää Oravaa poistamaan nämä nimet”. Arviointidokumentti oli esillä SEFTin johtokunnan kokouksessa 9.9.1993, jossa prof. Ting kävi esittelemässä sen.

Mustajoen työryhmä jätti esityksensä SEFTin ja TFT:n yhdistämisestä konsistorille 14.9.1993. Yhdistäminen esitettiin toteutettavaksi niin, että TFT ja SEFT säilyisivät uudessa laitoksessa taloudellisesti ja toiminnallisesti melko itsenäisinä. Keskeinen sija uuden laitoksen kehittämisessä olisi johtokunnalla. Sen kokoonpanolla oli tarkoitus varmistaa yliopistojen ulkopuolisten tahojen vaikutusmahdollisuus sekä laitoksen tutkimustoimintaan että CERN-yhteistyön hoitoon. Johtosääntöehdotuksen mukaan uuden laitoksen toimintaa ohjaisivat ja siitä päättäisivät johtokunta, johtaja ja yksiköitten tutkimusjohtajat yhdessä. Johtajan ja tutkimusjohtajien tehtävänä oli luoda johtokunnan antamien suuntaviivojen mukaisesti aikaisempaa selkeämpi projektiprofiili teoreettiseen ja kokeelliseen tutkimukseen. Laitoksen taloutta tulisi hoitamaan yhteinen hallintotoimisto. Johtajan virasta lausuttiin, että se voisi olla myös sivutoiminen. Yhdistämisen ei katsottu lisäävän budjettirahoitusta.

TFT:n johtokunta antoi lausuntonsa yhdistämisesityksestä 4.10.1993. Se katsoi, että esitys sinänsä osoittaa TFT:n ja SEFTin tavoitteiltaan ja toimintatavoiltaan siinä määrin erilaisiksi, ettei niiden yhdistämiselle ole kestäviä perusteluita. Ehdotuksen ei katsottu tuovan tieteelliseen toimintaan tai hallintoon liittyviä etuja silloiseen järjestelyyn verrattuna.

SEFTin henkilökunta käsitteli ehdotusta kokouksessaan 24.9.1993. Sekään ei suositellut TFT:n ja SEFTin yhdistämistä esityksen pohjalta. Sen mielestä esitys ei osoittanut yhdistämisellä saavutettavan kustannussäästöjä tai toiminnallisia etuja. Edelleen: ”Erityisesti yhdistetyn laitoksen uutta johtajan tehtävää ei pidetä tarpeellisena. Ehdotetusta johtosäännöstä eivät myöskään riittävän selvästi ilmene laitoksen johdon (johtaja, tutkimusjohtajat, hallintopäällikkö) valta- ja vastuusuhteet, erityisesti raha-asioihin liittyen.”

Seuraavaksi asiaa käsitteli TFT:n henkilökunta 27.9. ja 6.10.1993. Se ei periaatteessa asettunut vastustamaan yhdistämistä, eikä pitänyt tehtyä esitystä mahdottomana hyväksyä ”mikäli voidaan varmasti turvata korkeatasoisen teoreettisen tutkimuksen jatkuminen ja kehitys. Henkilökunnan mielestä tämä edellyttäisi mm. teoreettisten fyysikoitten riittävän edustuksen takaamista uuden laitoksen johtokunnassa sekä teoreettisen fysiikan rahoituksen varmistamista. Sen sijaan yhdistyminen heikon johtokunnan varassa tai kokonaan ilman johtajaa, kuten SEFTin henkilökunnan kannanotossa esitetään, ei TFT:n henkilökunnan mielestä saavuteta mitään etuja. Päinvastoin voidaan aiheuttaa korvaamaton vahinko TFT:n 30 vuoden ajan edustamalle fysiikan huippututkimukselle. Tätä ei TFT:n henkilökunta voi missään tapauksessa hyväksyä.”

SEFTin ja TFT:n henkilökuntien antamat lausunnot antavat kuvan eri tahojen intresseistä ja tavoitteista, joita laitosten yhdistämiseen liittyi. Yhdistämisehdotus sai pian myös ulkopuolista kritiikkiä. HTI:n johto heräsi ja mm. professorit Byckling ja Katila sekä TKK:n kylmälaboratorion johtaja, professori Lounasmaa vaativat HTI:lle laajempaa mandaattia CERN-yhteistyössä. Keskustelussa Tuominiemen kanssa 5.11.1993 Lounasmaa kritisoi SEFTin johtoa ja sen tapaa hallinnoida CERN-projekteja ilman laajempaa yhteisymmärrystä ja suunnittelua. Hän neuvoi tapaamaan asiassa rehtori Ihamuotilaa.

Lopulta SEFTin johtokunta antoi lausuntonsa 25.10.1993. Sillä oli käytettävissään TFT:n johtokunnan lausunto sekä TFT:n että SEFTin henkilökunnan kannanotot laitosten yhdistämistä koskevassa asiassa. Johtokunta katsoi, että SEFTillä ja TFT:llä oli useita synergia-alueita, joilla yhteistoimintaa oli jo ollut olemassa. Koska kummankin laitoksen henkilökunnan kanta ja TFT:n johtokunnan kanta yhdistämiseen oli selvästi kielteinen, SEFTin johtokunta päätyi ehdottamaan yhdistymisen sijaan yhteisen koordinaatioelimen perustamista. Yhteistyöelin voisi muodostua neljästä henkilöstä, kummankin laitoksen valitessa kaksi henkilöä edustamaan omaa laitostaan. Yhteistyöelin kokoontuisi säännöllisin väliajoin ja valvoisi toteutuvaa yhteistyötä.

Lopullista yhdistämispäätöstä ei tehty, ja konsistori jätti asian pöydälle. Yhdistämishanke jäi elämään kulisseissa, mikä lopulta johti v. 1996 Fysiikan tutkimuslaitoksen perustamiseen.

5.3. Kohti Fysiikan tutkimuslaitoksen perustamista

TFT:n ja SEFTin yhdistäminen 1.1.1994 oli päättynyt pattitilanteeseen sen saaman vastustuksen takia. Keskustelu fysiikan tutkimuslaitosten yhdistämisestä kuitenkin jatkui ja ajatukset TKK:n Hiukkasteknologian instituutin mukaantulosta olivat myös esillä. Kesäkuun alussa 1994 HY:n Fysiikan laitoksen professorit Paul Hoyer, Keijo Kajantie ja Juhani Keinonen lähettivät Helsingin yliopiston rehtorille kirjeen, jossa he ehdottivat, että ryhdyttäisiin uudelleen toimenpiteisiin yliopiston fysiikan tutkimuslaitosrakenteen kehittämiseksi käynnistämällä neuvottelut SEFTin ja TFT:n yhdistämiseksi: ”ottaen huomioon myös mahdollisuudet siirtää voimavaroja fysiikan ainelaitoksista sekä yhteistyön muiden korkeakoulujen kanssa.”

Tämä esitys johti HY:n rehtorin Risto Ihamuotilan ja TKK:n rehtorin Paavo Urosen yhteydenpitoon. He antoivat seuraavaksi vararehtoreilleen tehtäväksi ryhtyä selvittämään mahdollisuuksia HY:n ja TKK:n yhteisen tutkimuslaitoksen aikaansaamiseksi. Vararehtoreiden keskinäiset keskustelut sekä heidän yhteydenottonsa OPM:n edustajiin johtivat palaveriin, johon osallistuivat TKK:n vararehtori Toivo Katila, HY:n vararehtori Mustajoki, SEFTin johtokunnan puheenjohtaja, professori Jorma Routti sekä professori Risto Nieminen TKK:sta ja professori Juhani Keinonen HY:sta. Tässä palaverissa

päätettiin järjestää fyysikoiden yleinen keskustelutilaisuus aiheena ”valtakunnallinen fysiikan tutkimuslaitos”.

Keskustelutilaisuus järjestettiin HY:n konsistorin istuntosalissa 12.1.1995. Kokoukseen osallistui edustajia Helsingin, Joensuun ja Jyväskylän yliopistoista, TKK:sta sekä Tampereen teknillisestä korkeakoulusta, kaikkiaan 33 fyysikkoa. Avauspuheenvuorossaan vararehtori Mustajoki täsmensi kutsua kysymällä ”Jos HY:n sisällä ja yhteistyössä TKK:n kanssa pyritään aikaansaamaan valtakunnallisia tehtäviä hoitava fysiikan tutkimuslaitos, näkevätkö maamme muiden korkeakoulujen fysiikan laitokset tämän epätoivottavana ja vastustettavana vai haluavatko ne tukea hanketta ja osallistua siihen.” Käydyssä keskustelussa hanke sai kun saikin kannatusta. Katsottiin muun muassa toiveikkaasti, että ”valtakunnallisen tutkimuslaitoksen perustaminen mahdollistaisi fysiikan tutkimuksen ja tutkijakoulutuksen toteuttamisen maassamme paremmin ja kokonaisvaltaisemmin kuin ennen”. Kokous asetti työryhmän valmistelemaan suositusta fysiikan tutkimuksen tehokkaammaksi organisoimiseksi. Työryhmään valittiin professori Juhani Keinonen (HY, pj.), professori Risto Nieminen (TKK), professori Kimmo Kaski (TTKK) ja professori Juha Äystö (JY). Tämä työryhmä jätti esityksensä HY:n ja TKK:n vararehtoreille 9.2.1995. Työryhmä esitti yksimielisesti, että perustettaisiin valtakunnallinen tutkimusyksikkö, joka toimisi seuraavilla alueilla: hiukkasfysiikka, ydinfysiikka, materiaalifysiikka, teoreettinen fysiikka ja fysiikan tutkimukseen liittyvät teknologiat. Toisena vaihtoehtona työryhmä käsitteli kapeampaa mallia, joka aluksi keskittyisi hiukkasfysiikan, hiukkasteknologian ja teoreettisen fysiikan ympärille. Työryhmä oli yhteydessä myös Opetusministeriöön. Lopulta päädyttiin siihen, että päätettiin selvittää mahdollisuudet lähteä liikkeelle kapeasta mallista siten, että yhdistettäisiin SEFT, TFT ja HTI yhdeksi valtakunnallisesti resurssoiduksi tutkimuskeskukseksi. Laitos olisi ensimmäinen askel kohti laajempaa valtakunnallista laitosta, joka myöhemmin voisi sisältää muita esityksessä mainittuja fysiikan tutkimuksen sektoreita.

Hanke sai nyt tuulta purjeisiin. Professori Eero Byckling aktivoitui HTI:n johtajan ja SEFTin johtokunnan varajäsenen ominaisuudessa ajamaan asiaa eteenpäin. Hänen aloitteestaan SEFTin johtokunta perusti 9.3.1995 asiantuntijaryhmän selvittämään, miten Suomi osallistuu LHC-kiihdyttimen tutkimusohjelmaan. Johtokunta nimitti jaoksen puheenjohtajaksi professori Bycklingin ja jäseniksi johtaja Risto Oravan (SEFT), erikoistutkija Martti Pimiän (CERN) ja TkT Ari-Pekka Hamerin (CERN). Jaos listasi kiinnostavina kehityshankkeina puolijohdeilmaisimet, kaasuilmaisimet, ratailmaisin-laitteistojen tukirakenteet, elektroniikan, tiedonsiirron ja analyysiohjelmistot. Se totesi edelleen, että tuolloin Suomessa esillä olleet tutkimussuunnitelmat sisälsivät lähinnä kaksi hanketta, joissa suomalainen osallistuminen oli jo vahvaa: CMS-koe sekä LHC-kiihdyttimen ja sen koeasemien rakentamisen projektihallinnointijärjestelmät. Ensin mainitussa suomalaisten panos oli suunnattu CMS:n keskusratailmaisimen suunnitteluun, jälkimmäisessä hallintajär-

jestelmä soveltui sekä LHC-kiihdyttimen että ATLAS- ja CMS-koeasemien käyttöön.

Byckling haastatteli myös SEFTin projektipäälliköitä. Toukokuun alussa 1995 hän kutsui CMS-projektin päällikön Jorma Tuominiemen luokseen antamaan yksityiskohtaista informaatiota CERNin CMS-projektista ja suomalaisten tutkijoiden vahvuuksista siinä. Tässä keskustelussa hän kaavaili tutkimuslaitoksen rakenteelle mallia, jossa tutkimus oli organisoitu tutkimusohjelmiksi, joilla olisi omat vastaavat johtajat. Rahoitus tulisi suoraan Opetusministeriöltä. Hänen mielestään asian eteenpäin viemiseksi olisi asetettava selvitysmies. Byckling esittikin seuraavaksi TKK:n vararehtorille Toivo Katilalle yhden miehen selvityskomitean perustamista ja SITRAn yliasiamiehen, professori Jorma Routin kutsumista selvitysmieheksi. Routti oli toiminut SEFTin johtokunnan puheenjohtajana v. 1993 lähtien, joten hän oli hyvin selvillä SEFTin organisaatiomallin hyvistä puolista ja myös sen ongelmista. Hän oli lisäksi hyvin informoitu HTI:n toiminnasta. Hanke liikahti nyt ratkaisevasti eteenpäin, rehtorit Risto Ihamuotila ja Paavo Uronen päättivät 17.5.1995 pyytää Routtia tekemään ehdotuksen uuden tutkimuslaitoksen toiminnallisista tehtävistä, rakenteesta, hallinnosta ja rahoituksesta. Selvitysmiehen tuli ottaa työssään huomioon asiasta aikaisemmin tehdyt esitykset ja suunnitelmat. Hänen oli myös kuultava SEFTin, HTI:n, TFT:n ja fysiikan ainelaitosten sekä luonnontieteiden ja niihin liittyvien tekniikan alojen opetuksen edustajia ja OPM:n asettamaa tutkimuksen selvitysmiestä professori Lounasmaata. Routti otti sihteeriksi yhden miehen komiteaansa TFT:n yleissihteerin Erkki Pajanteen. Jorma Routti oli siirtymässä Euroopan Unionin tieteestä ja teknologiasta vastaavaksi pääjohtajaksi 1.1.1996, mikä antoi hänen raportilleen erityistä painoarvoa.

5.4. Fysiikan tutkimuslaitoksen perustaminen 1996

Routin esitys julkistettiin 6.9.1995. Se pohjautui paljolti aikaisempiin selvityksiin, mutta esitetyssä organisaatiossa vastuut oli määritelty selkeästi ja riippumaton tieteellinen arviointi oli keskeisessä osassa. Organisaatioon kuuluivat johtokunta, johtaja, johtoryhmä ja hallintoyksikkö sekä tieteellinen neuvottelukunta, joka koostuisi ulko- ja kotimaisista tutkimuslaitoksen toimialaan hyvin perehtyneistä asiantuntijoista. Toiminta oli ryhmitelty tutkimusohjelmiksi, jotka koostuivat tutkimusprojekteista, joiden määrä saattoi vaihdella. Aluksi toiminta oli suunniteltu sisältävän teoriaohjelman, hiukkasfysiikan ohjelman, teknologiaohjelman ja tutkijakoulutusohjelman. Ohjelmapohjainen rakenne oli joustava, ja ajatuksena oli, että siihen voitaisiin myöhemmin liittää muita kansainvälisiä laajoja ohjelmia. Tutkimuslaitoksen vuotuiseksi käyttöbudjetiksi Routti esitti 21 milj. markkaa, mikä perustui SEFTin, TFT:n ja HTI:n budjettien kokonaissummaan.

Professori Herwig Schopper (vas.), professori Jorma Routti (kesk.) ja professori Hubert Curien (oik.). Routti toimi SITRAn yliasiamiehenä vv. 1986–1995, SEFTin johtokunnan puheenjohtajana 1993–1995 ja Fysiikan tutkimuslaitoksen perustamista valmistelleena selvitysmiehenä v. 1995. Schopper toimi CERNin pääjohtajana vv. 1981–1988, Curien CERNin Neuvoston puheenjohtajana vv. 1994–1996. (Kuva CERN)

Routin ehdotuksen lainsäädännöllistä täsmentämistä varten OPM asetti seuraavaksi työryhmän, jonka puheenjohtajaksi kutsuttiin korkeakouluneuvos Juhani Hakkarainen OPM:stä. Jäseninä olivat vararehtori Arto Mustajoki (HY), vararehtori Toivo Katila (TKK), hallintojohtaja Esa Luomala (TKK), kvestori Marja Nikkarinen (HY), hallitusneuvos Ulla Lång, ylitarkastaja Marja Pulkkinen (OPM) ja lakimies Olli Muttilainen (HY). Työryhmä päätti esittää uuden laitoksen perustamista Helsingin yliopiston yhteyteen. Tämä merkitsi sitä, että oli ryhdyttävä toimenpiteisiin Helsingin yliopistosta koskevan lain muuttamisesta ja erillisen asetuksen antamisesta niin, että Helsingin yliopiston yhteydessä oleva laitos voisi olla useamman yliopiston hallinnoima. Työryhmä jätti mietintönsä Opetusministeriölle 13.2.1996 (OPM 14:1996). Tarvittavat lakimuutokset saatiin kirjoitettua valmiiksi heinäkuussa 1996. Presidentti Ahtisaari allekirjoitti ne 26.7.1996 ja laki astui voimaan 1.9.1996. Fysiikan tutkimuslaitos (FTL) oli perustettu.

Vuosi 1996 oli vielä siirtymäkausi, SEFTillä ja TFT:lla oli hyväksytyt toimintasuunnitelmat ja budjetit. Risto Orava oli määrätty johtamaan SEFTiä ensin 30.6.1996 asti ja sitten vuoden loppuun ja Eero Byckling HTI:a koko vuodeksi. TFT:n hallintoa johti virkaatekevänä johtajana yleissihteeri Erkki Pajanne. Johtokuntia SEFTille, TFT:lle ja HTI:lle ei enää asetettu ja laitosten johtajat hoitivat siten laitostensa juoksevaa hallintoa. Fysiikan tutkimuslaitoksen perustamista valmistelemaan HY, TKK ja OPM asettivat väliaikaisen johtokunnan, joka kokoontui ensimmäisen kerran 14.3.1996. Jäseniksi oli kutsuttu dos. Katri Huitu (HY, henkilökunnan edustaja), vararehtori Toivo

Katila (TKK), professori Juhani Keinonen (HY), vararehtori Arto Mustajoki (HY), ylitarkastaja Marja Pulkkinen (OPM), ja professori Rainer Salomaa (TKK). Puheenjohtajaksi väliaikainen johtokunta valitsi Arto Mustajoen ja varapuheenjohtajaksi Toivo Katilan. Sihteeriksi oli kutsuttu lakimies Olli Muttilainen (HY).

Väliaikaisen johtokunnan tehtävänä oli Fysiikan tutkimuslaitosta koskevien suunnitelmien valmisteleminen ja täytäntöönpano. Yksi ensimmäisistä päätöksistä oli nimittää professori Eero Byckling toimimaan Suomen edustajana ATLAS- ja CMS-kokeiden Resource Review Boardeissa. Päätettiin myös tutkimuslaitoksen englanninkielisestä nimestä, joksi tuli Helsinki Institute of Physics (HIP). Nimilyhenne HIP otettiin käyttöön myös suomenkielisessä yhteydessä. Edelleen johtokunta päätti perustaa työryhmän selvittämään tutkimuslaitoksessa harjoitettavan ilmaisintutkimuksen laajuutta sekä toiminnan ja rahoituksen kannalta optimaalista infrastruktuuria.

Väliaikaisella johtokunnalla oli mahdollisuus ottaa kantaa SEFTin, TFT:n ja HTI:n toimintaa koskeviin asioihin, mutta se ei voinut tehdä näitä laitoksia koskevia sitovia päätöksiä. Päätettiin, että asetettaisiin valmisteluryhmä, joka täydentäisi perustettavana olevan laitoksen suunnittelua. Jäseniksi kutsuttiin laitosten johtajat Eero Byckling (pj), Risto Orava ja Stig Stenholm, sihteereiksi TFT:n pääsihteeri Erkki Pajanne ja SEFTin hallintopäällikkö Jukka Petänen. Valmisteluryhmän tehtäviksi annettiin

1) tehdä ehdotus fysiikan tutkimuslaitoksen hallinnolliseksi rakenteeksi ja laatia luonnos laitoksen työjärjestykseksi,
2) laatia yleispiirteinen suunnitelma tutkimuslaitoksen tutkimustyön arvioinnin järjestämisestä ja tutkimuksen suuntaamisesta,
3) laatia luonnos laitoksen talousarvioksi vuodelle 1997,
4) laatia jatkovalmistelun perustaksi esitys laitoksen henkilöstötarpeesta, sekä
5) tehdä esitys tutkimuslaitoksen perustamiseen liittyvistä tiedotustarpeista, erityisesti ottaen huomioon laitoksen kansainväliset suhteet.

Hallintorakenteen laatimisessa päädyttiin siihen, että johtokunnan tuli koostua HY:n ja TKK:n hallinnon asiantuntijoista. Lopullinen päätös oli, että jäseniksi tulisivat kummankin korkeakoulun vararehtorit, kaksi fysiikan laitosten esimiestä, OPM:n valitsema jäsen ja henkilökunnan edustaja. Näin johtokunnan jäseniksi tulivat vararehtorit Toivo Katila (TKK) ja Arto Mustajoki (HY), professorit Juhani Keinonen (HY) ja Rainer Salomaa (TKK), OPM:n kutsumana jäsenenä professori Juha Äystö (JY) sekä henkilökuntien valitsemana jäsenenä dos. Katri Huitu. Varajäseninä olivat vararehtorit Tor-Ulf Weck (TKK) ja Paul Fogelberg (HY), professorit Dan-Olof Riska (HY) ja Pekka Hautojärvi (TKK), tutkimusjohtaja Jorma Hattula (SA, OPM) sekä dos. Tapio Ala-Nissilä (henkilökunnan varaedustaja).

5.5. Ilmaisintyöryhmä 1996

DELPHI-kokeen yhteydessä oli SEFLissä aloitettu elektronisiin hiukkasfysiikan kokeisiin tarvittavien hiukkasilmaisimien suunnittelu, testaus ja kokoonpano. Koska Siltavuorenpenkereellä ei ollut sopivia tiloja tätä varten, oli v. 1987 perustettu laboratorio juuri valmistuneeseen Innopoli-teknologiakeskukseen Otaniemeen, Espooseen. Paikka oli valittu siksi, että se oli Teknillisen korkeakoulun kampuksella ja lähellä sijaitsivat myös VTT ja useita teknologiayrityksiä.

Fysiikan tutkimuslaitosta perustettaessa jouduttiin miettimään, miten suurenergiafysiikan teknillispainotteista tutkimusta ja koulutusta tulisi järjestää tutkimuslaitokselle laaditun asetuksen mukaisesti. Tutkimuslaitoksen väliaikainen johtokunta asetti kokouksessaan 5.6.1996 työryhmän selvittämään SEFTin ylläpitämän ilmaisintutkimukseen keskittyneen laboratorion uudelleenjärjestelyä tämän tavoitteen saavuttamiseksi. Työryhmän puheenjohtajaksi nimitettiin professori Juhani Keinonen ja jäseniksi dosentti Risto Orava (HY, SEFT), yliassistentti Jorma Tuominiemi (HY, FL/SEFL), tutkimusprofessori Tuure Tuuva (Oulun yliopisto) ja professori Tapani Wiik (VTT). Sihteeriksi nimitettiin Erkki Pajanne (TFT). Työryhmä käytti raporttia laatiessaan SEFTin Ilmaisinlaboratorion henkilökunnan (T. Schulman, K. Kurvinen, M. Laakso, J. Suomalainen, T. Särmä ja R. Brenner) asiantuntemusta. Työryhmän puheenjohtaja kävi CERNissä 17.–19.1996 tapaamassa CMS-, ATLAS- ja DELPHI -kokeiden puhemiehiä (M. Della Negra, P. Jenni, D. Treille) ja selvittämässä heidän näkökantojaan Suomessa tehtävästä ilmaisinkehityksestä ja -rakentamisesta.

Työryhmä kokoontui viiteen otteeseen ja jätti raporttinsa 25.9.1996. Raportin laatiminen osoittautui työlääksi. Työryhmän jäsenet olivat erimielisiä useissa kohdin. Ensimmäinen erimielisyys koski geneerisen tutkimuksen asemaa. SEFTin ilmaisinlaboratorion toiminta Innopolissa oli laajentunut koskemaan sovellutuksia, joilla ei ollut suoraa yhteyttä hiukkasfysiikan kokeisiin, joihin suomalaiset ryhmät osallistuivat. Osa työryhmän jäsenistä oli sitä mieltä, että niitä voitiin jatkaa vain ulkopuolisella rahoituksella. Toinen erimielisyyden aihe oli ilmaisinkehitystyön fokusointi resurssien mukaan. Molemmista asioista päästiin kuitenkin lopulta jonkinlaiseen kompromissiin. Yhtä mieltä oltiin siitä, että suurenergiafysiikan tutkimuksessa työskentelevän tutkimusryhmän edellytykset osallistua menestyksekkäästi ja näkyvästi LHC-kiihdyttimellä tehtävään tutkimukseen CERNissä riippui ryhmän asiantuntemuksen laadusta ja monipuolisuudesta. Ryhmän oli oltava kilpailukykyinen paitsi hiukkasfysiikan osaamisessa, myös koeaseman osajärjestelmien suunnittelussa ja rakentamisessa sekä kokeiden tuottaman numeerisen tiedon käsittelyssä.

DELPHI-kokeen tarpeita palvelemaan rakennetussa SEFLin/SEFTin ilmaisinlaboratoriossa työskenteli tuolloin suuri osa suomalaisista ilmaisin-

tekniikan asiantuntijoista. Tämän asiantuntemuksen hyödyntämistä jatkokoulutuksessa ja myös teollisiin sovellutuksiin tähtäävissä projekteissa pidettiin tärkeänä. Työryhmä suositteli, että SEFTin ilmaisinlaboratoriossa käynnissä ollutta toimintaa jatketaan myös Fysiikan tutkimuslaitoksessa. Tutkimuslaitoksen päätavoitteiden varmistamiseksi ilmaisinlaboratorion tutkimus- ja kehitystyö oli ensi sijassa keskitettävä sellaisiin kokeisiin CERNissä, joihin laitos on virallisesti sitoutunut. Hiukkasilmaisimiin liittyvä yleinen geneerinen kehitystyö ja koulutustoiminta oli pidettävä kiinteässä yhteydessä laitoksen tutkimusprojekteihin. Näin ollen ilmaisinlaboratorion budjettivaroin tuettu toiminta oli keskitettävä CERNin elektroni-positroni-kokeisiin (lähinnä DELPHI) ja LHC-kokeisiin sekä tulevaisuuden kokeisiin liittyvään geneeriseen kehitystyöhön liittyviin toimintoihin. Sovellutuksiin tähtäävä toiminta oli rahoitettava pääsääntöisesti tutkimuslaitoksen ulkopuolelta, kuten oli tapahtunutkin SEFTin projekteissa. Jotta resurssien suuntaamista voitaisiin tehdä tarkemmin, ilmaisintyöryhmä suositteli, että Fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunta käsittelisi mahdollisimman pikaisesti SEFTin johtokunnan CMS-kokeeseen osallistumisesta tekemän rahoituspäätöksen ja tekisi sitä koskevat päätökset. ’Tutkimuslaitoksen olisi tämän jälkeen aloitettava suunnitelmien mukainen valmistelu osallistumisesta vuonna 1998 alkavan CMS:n keskusratailmaisimen rakentamiseen. Tätä varten ilmaisinlaboratorion toiminnan ja resurssien painopistettä oli siirrettävä LHC-kokeiden valmisteluun jo vuodesta 1997 alkaen.

Ilmaisinlaboratorion infrastruktuurista työryhmä totesi seuraavat yleiset seikat. Laboratorion henkilö- ja materiaaliresursseja piti voida siirtää joustavasti projektilta toiselle. Ilmaisinlaboratoriossa harjoitetun tutkimus- ja koulutustoiminnan yhteys HY:n ja TKK:n ainelaitoksiin tuli säilyttää kiinteänä ja kaikkien osapuolien etuja palvelevina. Lopuksi suositeltiin, että SEFTin työpajan toimintaa ei rahoiteta budjettivaroista, vaan toimintojen tarvitsemat työpajan palvelut turvataan muulla tavoin. Raporttiin oli liitetty työryhmän suositusten mukainen esitys vuoden 1997 budjetista ja vuosia 1998–2005 koskeva arvio. Työryhmän raportti käsitteli myös mahdollista piinauhailmaisinmodulien kokoamista Suomessa (Production center). FT Tuure Tuuva oli esittänyt tällaisen toiminnan aloittamista Oulun yliopiston Mikroelektroniikan laboratoriossa yhteistyönä VTT:n sekä Oulussa toimivan Selmic Oy:n kanssa.

Tämän työryhmän suositukset olivat vasta alkua ilmaisinlaboratoriosuunnitelmille. Niihin palattiin uudelleen vuonna 1998, kun HIPin tieteellinen neuvottelukunta oli ottanut detektoritoiminnan esille suosituksissaan.

6. LEP ja DELPHI-koe 1990-luvulla

6.1. SEFTin tutkimusryhmä DELPHI-kokeessa 1990–2000

LEP-törmäytin oli käynnistynyt elokuussa 1989 ja sen kaikki neljä koeasemaa olivat aloittaneet datan keruun heti käynnistymisen jälkeen. Koska SEFTin ryhmällä oli vastuu DELPHI-kokeen hadronikalorimetrin operoinnista ja suorituskyvystä, tutkimuksen pääkohde heti alkuun oli kalorimetrin tehokkuuden mittaus ja toiminnan seuranta. Myös kalorimetrin edelleen kehittämistä lähdettiin heti suunnittelemaan. Aktiviteettien koordinaattorina toimivat PhD Sandór Czellár (Dubnasta SEFLiin siirtynyt tutkija) CERNissä ja FM Martti Voutilainen Helsingissä. Toinen SEFTin ryhmän keskeinen toiminta-alue oli mikroverteksidetektorin testeihin ja kehittämiseen osallistuminen. VTT:n valmistamia piinauhailmaisimia asennettiin verteksidetektoriin v. 1991. Pii-ilmaisintutkimuksessa työskentelivät FT Tuure Tuuva, FM Richard Brenner (Åbo Akademi), dos. Heimo Saarikko, laboratorioinsinöörit Kari Kurvinen ja Rauno Lauhakangas sekä useita jatko-opiskelijoita. FM Kenneth Österberg toimi verteksidetektorin analyysiohjelmiston koordinaattorina ja laati ohjelmiston lopullisen version 1994–95. Österberg oli Suomen Akatemian tutkimusassistenttina vv. 1991–1995.

SEFTin ryhmä osallistui aktiivisesti myös DELPHIn data-analyysiohjelmistojen kehitystyöhön. Fysiikan analyysissä se keskittyi aluksi etsimään supersymmetrisiä hiukkasia Z^0-bosonin hajoamisissa. Tutkimusta koordinoivat dos. Heimo Saarikko (Fysiikan laitos) ja M.Sc. Marco Battaglia (SEFT, Milanon yliopistosta valmistunut jatko-opiskelija). Tutkimuksesta valmistui varsin pian kaksi väitöskirjaa. Paula Eerola väitteli aiheesta ”A Search for New Heavy Particles in Z^0 Decays at LEP” (HU-SEFT-1990-01) Helsingin yliopistossa 26.10.1990. Vastaväittäjänä toimi professori Sau Lan Wu Wisconsinin yliopistosta. Seuraavana väitteli Reino Keränen TKK:lla 20.9.1991. Väitöskirjan otsikkona oli ”Energy Measurement in Collider Experiments and Search for Scalar Quarks in Z^0 Decays at LEP I” (HU-SEFT-1991-09). Vastaväittäjänä oli Dr. Peter Jenni CERNistä. Sekä Paula Eerola että Reino Keränen siirtyivät pian CERNin Fellow-stipendiaateiksi, Eerola vv. 1991–93, Keränen vv. 1992–95. Molemmat jatkoivat myös SEFTin adjungoituina tutkijoina. Eerola siirtyi CERNin PH-osaston henkilökuntaan ATLAS-kokeen jäseneksi vuosiksi 1994–1997 ja v. 1998 Lundin yliopistoon edelleen ATLAS-kokeen jäsenenä. Hän jatkoi myös SEFTin/HIPin adjungoituna tutkijana.

SEFTin ryhmän osallistuminen DELPHIn fysiikan analyysiin laajeni v. 1993 tau-leptonin hajoamisten tutkimuksiin sekä b-kvarkin harvinaisten hajoamisten mittaamiseen. Yhtenä tutkimusaiheena oli mitata tarkasti CKM-matriisielementti V_{ub}. Näissä tutkimuksissa verteksidetektorin data näytteli olennaista osaa.

Vuoden 1995 loppuun mennessä DELPHI-koeasemalla oli rekisteröity n. 4 miljoonaa Z-bosonin hadronista hajoamistapahtumaa. Tässä vaiheessa

CERN päätti nostaa LEP-törmäyttimen energian kaksinkertaiseksi asentamalla sen kiihdytinjärjestelmään lisää kiihdytysonteloita, jotka nyt olivat suprajohteisia. Päätös tästä LEP 2 -vaiheeseen siirtymisestä tehtiin v. 1995. Vuonna 1996 saavutettiin energia, jolla voitiin tuottaa W-bosoneja. Kun W-bosoneilla on sähkövaraus, niitä voidaan elektroni-positronitörmäyksissä tuottaa vain pareittain, joten tarvittiin yli 160 GeV:n törmäysenergia.

Vuosikymmenen toisella puoliskolla SEFTin (vuodesta 1996 HIPin) DELPHI-ryhmä keskittyi tutkimaan Z^0-bosonin hadronisia hajoamisia erityisesti b-antib-kvarkkeihin. Ryhmä kehitti mm. uuden menetelmän kvarkkien värivankeuden analysoimiseksi, jota voitiin käyttää mm. Higgsin bosonin etsinnässä. SEFTin/HIPin DELPHI-ryhmässä työskentelivät M.Sc. Marco Battaglia, PhD Sándor Czellár, DI Ari Kiiskinen, PhD V. Nomokonov, DI Laura Salmi ja FM Kenneth Österberg, kaikki enimmäkseen CERNissä. Czellár vastasi DELPHIn hadronikalorimetrin toiminnasta ja parannusohjelmasta. Österberg toimi CERNissä DELPHIn verteksidetektorin projektipäällikkönä 1998–2000. Vuoden 1998 hän oli Suomen Akatemian tutkijatohtorina HIPin DELPHI-projektissa ja CERNin Fellow'na 1999–2001.

Seuraavat väitöskirjat käsittelivät vielä LEP 1:n dataa. Kenneth Österberg väitteli Helsingin yliopistossa 21.2.1998 aiheesta "Search for New Physics in the Lepton Sector of the Standard Model at LEP I" (HIP-1998-01) ja Marco Battaglia puolestaan aiheesta "Study of the b quark with the DELPHI detector at LEP" (HU-P-D71) Helsingin yliopistossa 11.3.1999. Österbergin vastaväittäjänä toimi professori Gerald Eigen Bergenin yliopistosta ja Battaglian vastaväittäjänä professori Ugo Amaldi Milanon yliopistosta.

LEP 2 -datan analysoinnissa suunnattiin päähuomio kahden Higgs-dubletin mallien ennustamien sähkövarauksellisten Higgsin bosonien etsimiseen. Tutkimus tuotti uusia alarajoja näitten hiukkasten massoille. Ari Kiiskinen väitteli 16.4.2004 TKK:lla aiheesta "Looking for Physics Beyond the Standard Model: Searches for Charged Higgs Boson at e^+e^- Colliders." (HIP-2004-01). Myös B-hiukkasten tutkimusta jatkettiin. Laura Salmi väitteli tästä aiheesta TKK:lla 24.3.2006. Väitöskirjan otsikko oli "Reconstruction of B Hadron Decays at DELPHI" (HIP-2006-01).

6.2. Higgsin bosonin metsästys ja LEPin sulkeminen 1999–2000

Higgsin bosonin etsiminen oli yksi tärkeimmistä LEP-kokeiden tutkimuskohteista. LEPillä tehtyjen tarkkuusmittausten avulla ja teoreettisia säteilykorjauslaskujen tuloksia käyttämällä oli oletetun Higgsin hiukkasen massalle saatu epäsuora keskimääräinen arvio 90 GeV/c^2. Sen perusteella saatettiin hyvin ajatella, että Higgsin bosonin löytäminen olisi LEPin ulottuvilla. Standardimallin mukaan Higgsin hiukkasen tuotto LEPillä oli mahdollista ns. Higgs-strahlung-

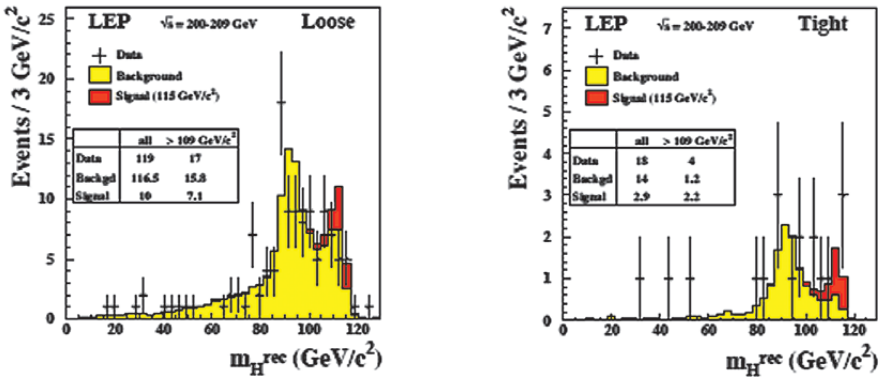
prosesseissa, joissa e^+e^--törmäyksessä syntynyt virtuaalinen Z^0 hajoaa Higgsin bosoniksi ja massakuorella olevaksi Z^0-bosoniksi.

Vuoden 1998 mennessä LEP-törmäyttimeen oli asennettu 272 suprajohteista kiihdytinonteloa ja törmäysenergia oli saatu nostettua 189 GeV:hen. Tällöin oli siis käytettävissä n. 98 GeV/c^2 uuden hiukkasen syntymiseen. Vuoden 1999 keväällä asennettiin vielä viimeiset valmiina olleet 16 suprajohteista onteloa, jolloin LEPin törmäysenergia oli 192 GeV/c^2. Tämän jälkeen LEPin insinööreillä oli vielä yksi kikka taskussaan. Käyttämällä LHC:tä varten jo rakennettua jäähdytysteknologiaa, LEPin suprajohteisten kiihdytinonteloiden jäähdytystä voitiin tehostaa ja niiden RF-kenttää kasvattaa – pienellä riskillä – noin 16 %. Näin päästiin 202 GeV:n törmäysenergiaan. Tämä oli jo lähellä LEPin maksimienergiaa, sillä sen taivutusmagneettien kenttä riitti 105 GeV:n elektronien ja positronien kierrättämiseen synkrotronissa.

Kun vuoden 1999 ajoissa ALEPH ja L3 löysivät törmäystapahtumia, joiden topologia oli sellainen, että ne voitiin tulkita tuotetun Higgsin hiukkasen hajoamisiksi, syntyi suuri innostus jatkaa kokeita vielä v. 2000 ajan. Alun perin LEPin sulkeminen oli suunniteltu v. 1999 loppuun. Näillä energioilla synkrotronisäteily vei jo merkittävän osan suihkujen kiihdyttämiseen käytetystä tehosta. CERNin pääjohtaja Chris Llewellyn Smith löysi kuitenkin pikku operaatioilla tarvittavat varat v. 2000 ajoja varten. Kun varastosta kaivettiin vielä kahdeksan vanhaa kiihdytysonteloa, ne kunnostettiin ja asennettiin kiireesti kiihdytysjärjestelmään, jolloin törmäysenergia saatiin nostettua 209 GeV:hen toukokuussa 2000. Nyt saavutettavissa olevan massa-alueen yläraja oli 118 GeV/c^2.

Syyskuuhun mennessä ALEPH oli havainnut kolme uutta törmäystapausta, joissa oli neljä hadroniryöppyä, joista kaksi voitiin tulkita 114 GeV:n Higgsin hiukkasen hajoamistuloksiksi. Niinpä LEPin toimintaa jatkettiin vielä lokakuun loppuun. Tällöin L3 löysi vielä yhden törmäystapauksen, jossa oli kaksi hadroniryöppyä ja puuttuvaa energiaa. Tapaus voitiin tulkita niin, että oli syntynyt 114 GeV/c^2:n Higgsin hiukkanen, joka oli hajonnut kahteen hadroniryöppyyn. Myös DELPHI ja OPAL näkivät massajakautumissa anomalioita, mutta niiden tilastollinen merkitys oli pienempi. HIPin DELPHI-ryhmä työskenteli yhden kandidaattitapauksen parissa, mutta se osoittautui muuksi reaktioksi. ALEPH-kokeen kandidaattitapausten kahden ryöpyn massa oli aivan massajakautuman maksimirajalla. Mitään massapiikkiä ei yhdistetyssä datassa kuitenkaan voitu nähdä, joten oli turvauduttava tilastolliseen analyysiin. CERN perusti työryhmän, joka analysoi tilannetta perusteellisesti.

Maximum likelihood-menetelmällä tehty hypoteesitestaus viittasi 115 GeV:n Higgsin bosonin olemassaoloon, mutta mittauksen tilastollinen merkittävyys oli vielä liian pieni sen vahvistamiseen. Niinpä työryhmä ehdotti 3.11. 2000 ajojen jatkamista vuonna 2001 löydön varmistamiseksi. Arvioitiin, että puolen vuoden LEP-ajon avulla voitiin törmäysten määrää kasvattaa niin, että signaalin tilastollinen merkittävyys voisi nousta tarvittavaan viiden standar-

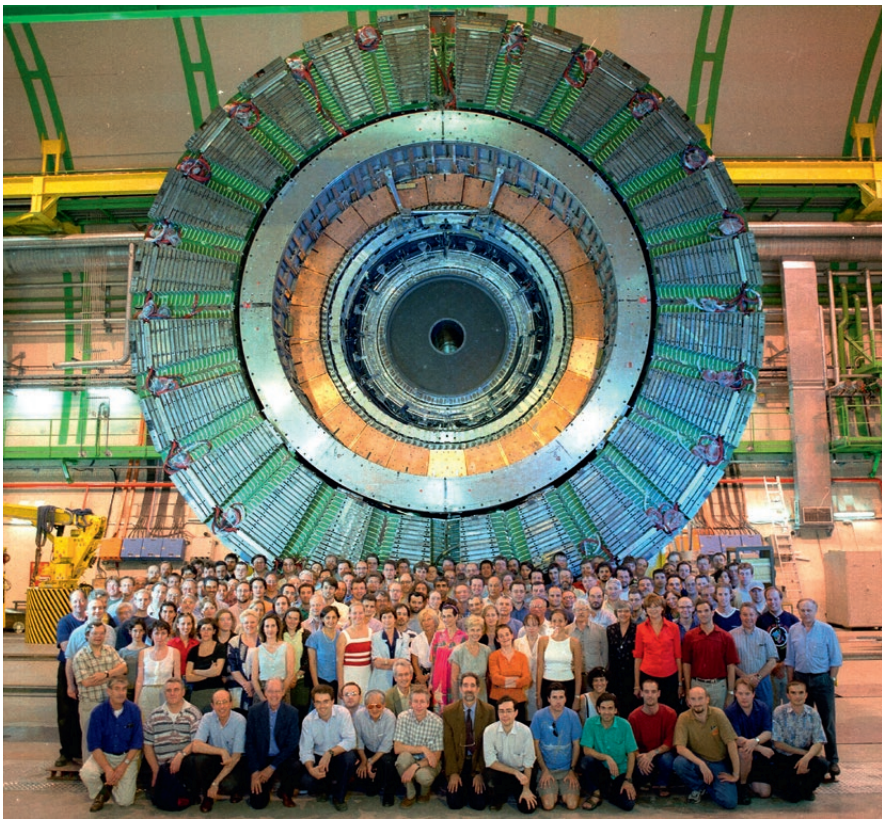


LEP-datasta rekonstruoitu kahden hadroniryöpyn massan jakautuma kahdessa tapauskategoriassa (faasiavaruuden eri osissa). Keltainen histogrammi on Monte Carlo -simulaatiolla saatu ennuste muiden reaktioiden aiheuttamalle taustalle, punainen on standardimallin ennuste 115 GeV/c^2:n massaiselle Higgsin bosonille.

dipoikkeaman tasolle, jos kyseessä oli uuden hiukkasen syntyminen. Kaikki neljä LEP-koetta olivat ehdotuksen takana. Ehdotusta käsitteli ensin CERNin LEP-komitea. Se päätyi myös johtopäätökseen, että v. 2001 ajo voisi tarjota mahdollisuuden tarkistaa, oliko kyseessä Higgsin hiukkanen.

LEP-ajojen jatkamista pohdittaessa nousi esille kysymys siitä, miten ajo vaikuttaisi käynnistetyn LHC-projektin edistymiseen. LHC:n kaivuutyöt ja magneettien valmistus oli aloitettu. LEPin purkaminen tunnelista lykkäänty isi ja LHC:n rakennusaikataulua jouduttaisiin muuttamaan. Aikataulua koskevat arvioinnit viittasivat 1–2 vuoden lykkäykseen LHC:n Higgsin metsästyksessä (vuodesta 2005 vuoteen 2007). Lisäksi LEPin operoinnin jatkamisen kustannukset olisivat olleet huomattavat, arviolta 100 milj. Sveitsin frangia. LEPin toiminnan jatkaminen merkitsisi myös merkittäviä paineita LHC-projektin henkilöresursseille. Kun kaikki argumentit yhdistettiin, LEP-komitea ei pystynyt muodostamaan konsensusta ajojen jatkamisesta. Tällaisena asia eteni CERNin Research Boardin käsittelyyn. Se kävi uudelleen läpi esitetyt argumentit puolesta ja vastaan ja päätyi samaan tulokseen kuin LEP-komitea. Konsensusta suositukselle ajojen jatkamisesta ei löytynyt. Päätös jäi CERNin johdolle. Professori Luciano Maiani, joka oli tullut pääjohtajaksi vuoden 2000 alussa, päätyi siihen, että paras ratkaisu CERNin kannalta oli keskittyä LHC-projektin nopeaan eteenpäin vientiin ja sulkea LEP. CERNin Scientific Policy Committee ja CERNin Neuvosto tukivat Maianin päätöstä. LEPin toiminta pysäytettiin marraskuun 2. päivän aamuna 2000. Yksi aikakausi CERNin historiassa oli päättynyt.

Taas kerran pitkään käytössä olleen kiihdyttimen sulkeminen tapahtui erimielisyyden vallitessa. Tällä kertaa tilanne oli sikäli uusi, että oli olemassa vihjeitä siitä, että ajoja jatkamalla olisi voitu tehdä suuri tieteellinen löytö. Tutkijoiden laajasta painostuksesta huolimatta CERNin johto päätyi kuiten-



DELPHI-kollaboraation jäseniä kuvassa 30.5.2001. Kolmannessa rivissä oikeassa laidassa FT Kenneth Österberg, keskellä kolmannessa rivissä PhD Sandor Czellár. DELPHI-koeasema on tässä jo siirretty rakennushalliinsa törmäytintunnelista. (Kuva CERN)

kin LEPin sulkemiseen. Ratkaisu ei ollut helppo. Siihen vaikutti, että ei voitu olla aivan varmoja siitä, että hyvin pienen datamäärän perusteella tehtyyn tilastollisen analyysiin voitiin luottaa. Toisaalta ajateltiin, että LHC-kokeet tarjoaisivat Higgsin hiukkasen etsimiseen merkittävästi paremmat mahdollisuudet. Higgsin bosonin mahdollinen löytäminen lykkääntyisi, mutta massa-alue jolla etsintä oli mahdollista LHC:llä, oli merkittävästi laajempi. Fermilabin Tevatron-törmäytin oli vakava kilpailija, mutta sen arvioitiin olevan valmiina Higgsin bosonin metsästykseen myöhemmin kuin LHC. LEPin sulkemispäätöstä puitiin ja arvosteltiin vielä pitkään hiukkasfyysikoiden keskuudessa ja tiedelehdistössä. Se, että päätös oli oikea, selvisi vasta v. 2012.

Näin jälkeenpäin on helppoa olla jälkiviisas, mutta tarinaan sisältyy myös opetus. Monimutkaisten tilastollisten menetelmien soveltamisessa ja mittausten tilastollisten ja varsinkin systemaattisten virheiden arvioinnissa on viisasta olla kriittinen, kun mitään selvää signaalia ei ole nähtävissä.

7.1. Alkuvaiheet 1984–1990

Kun CERNissä v. 1981 päätettiin LEP-tunnelin rakentamisesta, esillä oli myös suuren hadronitörmäyttimen rakentaminen samaan tunneliin LEP-kokeitten päätyttyä. Pääjohtaja John Adams oli käsitellyt tätä mahdollisuutta muistiinpanoissaan v. 1977 tähdentäen, että tunneli oli tehtävä riittävän tilavaksi, jotta sinne mahtuisi suprajohteisiin magneetteihin perustuva vähintään 3 TeV:n protoni-protoni-törmäytin. Tätä suunnitelmaa lähdettiin ECFA:n toimesta konkretisoimaan. Ensimmäinen suuren hadronikiihdytinkompleksin suunnittelua koskeva laaja konferenssi ”Large Hadron Collider in the LEP tunnel” järjestettiin CERNin ja ECFAn toimesta 1984 Lausannessa ja Genevessä.

Hiukkasfysiikan kokeellisen tutkimuksen tilanne voitiin 1980-luvun loppupuolella tiivistää toteamalla, että kaikki kokeelliset tulokset olivat sopusoinnussa SU(3)xSU(2)xU(1) -mittasymmetriaan perustuvan ”standardimallin” kanssa. GWS-teoria oli laajentunut standardimalliksi, kun CERNin SPS-törmäyttimellä ja Fermin laboratorion 500 GeV:n törmäyttimellä oli voitu mitata tarkasti myös hadronisia reaktioita, joille kvanttikromodynamiikka (QCD) oli vuosikymmenen alusta lähtien tarjonnut ennusteita. Standardimallin ennustamien kuudennen kvarkin ja Higgsin hiukkasten etsintä oli meneillään SPS- ja Tevatron-törmäytinkokeissa ja sisältyi myös LEPin tutkimussuunnitelmaan.

Toisaalta pidettiin selvänä, että standardimalli ei voinut olla ”lopullinen” teoria. Se sisälsi suuren joukon vapaita parametrejä, jotka oli kiinnitettävä kokeellisesti eikä se selittänyt sellaisia fundamentaalisia havaintoja kuten pimeän aineen olemassaoloa. Kun malli kuitenkin oli kestänyt tarkimmatkin kokeelliset testit, oli teoreettisessa tutkimuksessa alettu aktiivisesti etsiä sen laajennuksia, joilla mallin puutteita voitaisiin korjata. Laajennuksia tutkittaessa tultiin siihen tulokseen, että niiden kokeellinen tarkistaminen ja uusien ilmiöiden havaitseminen vaativat silloista huomattavasti suurempia törmäysenergioita. Myös vaihtoehtoisten teorioiden, kuten kvarkkien komposiittiteorioiden ennustamien ilmiöiden havaitseminen vaati samaa.

CERNissä päädyttiin näitten tarkastelujen ja suprajohteisten magneettien kehittämisessä tapahtuneen edistyksen pohjalta LHC-protoni-protonitörmäytinprojektiin, jossa protonisuihkujen törmäysenergia olisi 16 TeV. CERNin nimittämä Long Range Planning Committee suositteli CERNin johdolle v. 1987 LHC:n rakentamisen sisällyttämistä CERNin pitkän tähtäimen ohjelmaan. Yhdysvalloissa oli jo v. 1987 käynnistetty Superconducting Super Collider (SSC) -projekti, jossa protonisuihkujen törmäysenergiaksi oli asetettu 40 TeV. Oli siis kaksi kilpailevaa projektia, LHC CERNissä ja SSC Yhdysvalloissa. SSC oli selvästi niskan päällä suuremman energiansa vuoksi, mutta LHC-projektia lähdettiin kuitenkin ajamaan eteenpäin. Pääjohtaja Carlo Rubbialla oli tässä merkittävä rooli, hän asettui voimakkaasti LHC:n taakse. Tavoitteena oli, että LHC:n suihkujen intensiteetti olisi kymmenker-

tainen SSC:hen verrattuna, mikä kompensoisi energiaeroa uusien ilmiöitten etsimisessä. Kaksi samanlaista hanketta oli tietysti maailmanlaajuisestikin kallis kokonaisuus, LHC:n kustannusarvio oli 3,5 miljardia Sveitsin frangia ja SSC:n 6 miljardia US dollaria. Tämä herätti paljon keskustelua, kritiikkiä ja epäuskoisuutta eri tahoilla.

LHC- ja SSC-projektien päätutkimustavoitteet olivat seuraavat:

– *Standardimallin ennustaman sähköisesti neutraalin Higgsin hiukkasen etsintä.* Vuoden 1990 alkuun mennessä ALEPH-koe LEP-törmäyttimellä mitannut hiukkasen massan alarajaksi 115 GeV/c^2. Standardimalli ei ennusta Higgsin hiukkasen massaa, se antaa sille vain ylärajan joka on noin 800 GeV/c^2. LHC-törmäyttimen energia mitoitettiin tämän mukaan.
– *Useampien Higgsin hiukkasten olemassaolo.* Esimerkiksi super-symmetriateorioissa Higgsin sektorin rakenne oli monimutkaisempi kuin standardimallissa ja Higgsin hiukkasia on useampia, mukana myös sähkövarauksellinen hiukkanen.
– *Raskaat kvarkit.* Top-kvarkki oli toinen standardimallin ennustama hiukkanen, jota ei vielä ollut havaittu. UA-kokeissa SPS:lla ja CDF-kokeessa Tevatronilla oli sen massan alarajaksi mitattu 70-90 GeV/c^2. Ellei top-kvarkkia olisi löydetty Tevatron-kokeissa v. 1995, sen havaitseminen olisi jäänyt suurille protoni-protoni-törmäyttimille. LHC-törmäyttimellä raskaita kvarkkeja arvioitiin voitavan havaita aina 2 TeV/c^2:n massoille asti.
– *Supersymmetriset hiukkaset.* Eräs standardimallin teoreettisista ongelmista on, että Higgsin hiukkasen massaa määrittävät häiriöteorian korkeamman kertaluvun säteilykorjaukset voivat nostaa massan hyvinkin suureksi. Siten standardimallin Higgsin hiukkasen massan suhteellisen pienen massan (< 800 GeV/c^2) täytyi olla seuraus silmukkakorjausten kumoutumisesta toisiaan vasten. Supersymmetriateoriat tarjoavat ratkaisun tähän ns. massahierarkiaongelmaan olettamalla, että kaikilla fermioneilla on supersymmetrinen bosoni-sisarhiukkanen ja bosoneilla vastaavasti fermioni-sisarhiukkanen. Supersymmetristen sisarhiukkasten antamat silmukkakorjaukset ovat etumerkkiä vaille samat, joten ne automaattisesti kumoavat toisensa. Koska supersymmetrisiä hiukkasia ei tuolloin ollut löydetty (eikä vielä tätä kirjoitettaessa v. 2018) symmetrian täytyi olla rikkoutunut ja sisarhiukkasten massojen täytyi olla selvästi suurempia kuin tunnettujen hiukkasten. Alarajoja supersymmetristen hiukkasten massoille oli mitattu CERNissä ja Fermin laboratoriossa, hiukkasesta riippuen 50-100 GeV/c^2. LHC:llä arvioitiin voitavan päästä yli 1 TeV/c^2:n massoille.

Törmäyttimen luminositeettia kiinnitettäessä oli otettava huomioon, että pistevuorovaikutusten vaikutusalat pienenevät kääntäen verrannollisena partonien

törmäysenergian neliöön. Näin myös uusien raskaitten hiukkasten tuottovaikutusalat pienenevät kääntäen verrannollisina niitten massan neliöön. Lisäksi LHC-ohjelman tavoitteena oli etsiä uusia harvinaisia ilmiöitä, joiden vaikutusalojen teoreettiset arviot olivat hyvin pieniä. Esimerkiksi Higgsin hiukkasen ennustettu tuottovaikutusala oli vain noin 10^{-11} pp-törmäysten kokonaisvaikutusalasta. LHC:n luminositeetti-tavoitteeksi asetettiin $10^{34}\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$, jolla Higgsin hiukkasia ennustettiin syntyvän yksi tunnissa. Koska protonien määrä törmäyttimessä kiitävissä protonirihmoissa oli jo SPS:llä ja Tevatronilla lähellä suurinta mahdollista rihmojen avaruusvarauksen vuoksi, oli suihkujen intensiteettiä nostettava lisäämällä rihmojen määrää. Kun LHC:n protonirihmojen suunniteltu aikaväli oli 15 ns (myöhemmin 25–50 ns), SPS-törmäyttimellä se oli 4 μs, eli 267 kertaa suurempi. Aikavälillä 25 ns törmäystaajuus oli 40 MHz. Ilmaisimien ja niiden lukuelektroniikan oli siten oltava huomattavasti silloista nopeampia, jotta voitiin erottaa kahden perättäisen rihman törmäyksen aikana syntyneet reaktiot. Lisäksi rihmojen törmäyksissä syntyi suunnitelluilla luminositeeteilla noin 20 protonien törmäystä. Datan analyysi tuli olemaan merkittävästi hankalampaa, ja oli kehitettävä uusia algoritmeja reaktioiden erottamiseksi toisistaan. Lopuksi oli vielä yksi uusi ongelma: kun reaktiotaajuus tuli olemaan merkittävästi suurempi, ilmaisinlaitteistojen oli kestettävä entistä suurempi säteilyannos, joksi arvioitiin jopa 10^5 Gy/vuosi.

Hiukkassuihkujen aikarakenne

Moderneissa hiukkaskiihdyttimissä kiihdytysprosessi pätkii niissä kulkevan hiukkasvirran epäjatkuvaksi. Esimerkiksi LHC:ssa kiertävät protonit ovat järjestäytyneet ”rihmanpätkiksi”, joiden poikkileikkaus on kymmenien mikrometrien luokkaa ja pituus on noin seitsemän senttimetriä. Rihmoihin voidaan pakata tyypillisesti 10^{11} protonia. Suuremmalla hiukkastiheydellä protonien väliset hylkimisvoimat kasvavat niin suuriksi, ettei kiihdyttimen magneettien fokusointiteho riitä niiden pitämiseen ohuina rihmoina. Rihmojen etäisyys toisistaan määräytyy kiihdytyskentän jaksoluvusta. Esimerkiksi LHC:llä protonisuihkun aikarakennetta aletaan muodostaa kuitenkin jo esikiihdyttimissä, erityisesti 25 GeV:n PS-synkrotronissa.

Uusia ilmaisintyyppejä ja tiedonkeruujärjestelmiä, jotka täyttäisivät asetetut uudet vaatimukset, oli jo aloitettu kehitellä 1980-luvun lopulla. Suunnitellut koeasemat olivat perusrakenteeltaan samanlaisia kuin SPS:llä ja Tevatronilla, mutta esimerkiksi törmäyspisteen ympärille sijoitettavat, sähkövarauksellisten hiukkasten ratoja mittaavat lankakammiot oli korvattava uusilla, nopeammilla detektoreilla, kuten puolijohdeilmaisimilla tai transitiosäteilyilmaisimilla. Elektronien ja fotonien havaitsemista varten alettiin puolestaan kehitellä argon- tai xenon-täytteisiä ionisaatiolaskuri-kalorimetrejä ja tuikeaineisiin (BGO, BaF_2, CeF, $PbWO_2$) perustuvia kidekalorimetrejä. Hadronikalorimetrien tapauksessa tuikkiviin kuituihin ja nopeisiin nesteionisaatiolaskureihin perustuvat menetelmät näyttivät lupaavimmilta. Myoni-ilmaisimet voitiin vielä perustaa paljolti olemassa olleeseen tekniikkaan, vaikka uudentyyppisiä, entistä nopeampia ilmaisimia oli jo kehitteillä (esimerkiksi Resistive Plate Counters, RPC).

7.2. LHC-kokeiden suunnittelu alkaa

LHC-kokeitten suunnittelua alettiin organisoida CERNissä vuonna 1988. UA2-kokeessa pätevöitynyt Peter Jenni CERNistä alkoi ensiksi järjestää seminaareja aiheesta. Asia oli myös esillä UA1:ssä työskentelevien fyysikoiden parissa. Carlo Rubbia oli aiemmin esittänyt puolivakavissaan yksinkertaisen koekonseptin, jolle hän antoi nimen ”Iron Egg”. Se koostui LHC:n protonien törmäyspisteen ympärille rakennetusta suprajohtavasta solenoidista ja sen vuonpalauttimesta (rautasydän) sekä vuonpalauttimen sisälle ja ulkopuolelle sijoitetuista ratailmaisimista (tracker-ilmaisimista). Rautasydän oli niin paksu, että kaikista protoni-protoni-törmäyksessä syntyneistä hiukkasista vain myonit ja neutriinot läpäisivät sen. Kun Higgsin hiukkanen hajoaa GWS-teorian mukaan ajoittain neljään myoniin, ne voitaisiin havaita ja niiden liikemäärät mitata ratojen kaartumisesta magneettikentässä rautasydämen sisällä. Näin neljän myonin massajakautuma voitaisiin mitata ja etsiä Higgsin hiukkasen aiheuttamaa massapiikkiä.

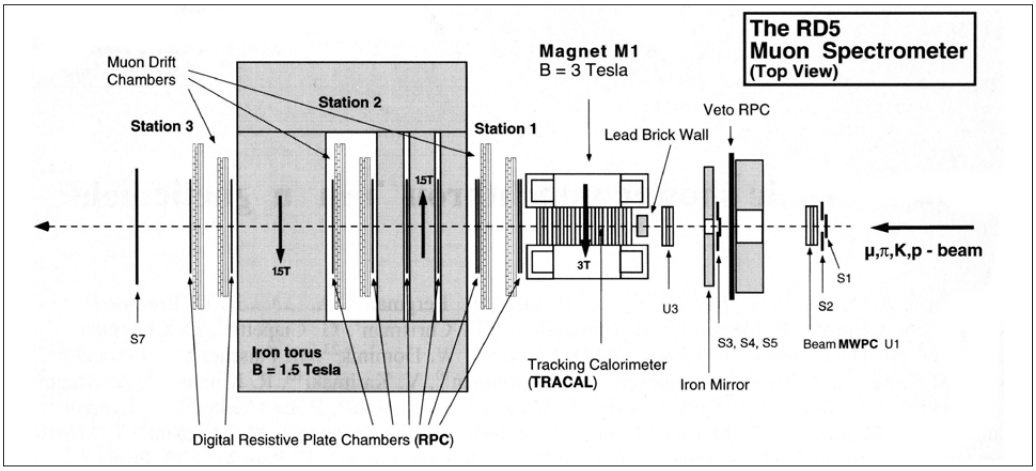
Myonien liikemäärän mittaamisessa ainoa käytetty menetelmä oli edelleen magneettikentässä tapahtuvaan myonin radan kaareutumiseen perustuva mittaus. Transitiosäteilyyn perustuvaa mittausta oli kokeiltu, mutta toimivia laitteita ei vielä ollut rakennettu. Magneettinen mittaus voidaan tehdä kahdella tavalla. Toinen on ”Iron Egg” -konsepti, jossa ratojen taivutus tehdään absorptioraudan sisällä. Toisessa menetelmässä voimakas magneettikenttä synnytetään kalorimetrien ja absorptioraudan ulkopuolelle sijoitetuilla toroidimagneeteilla ja myonikammiot sijoitetaan toroidien väliin. Spektrometri on siis ilmatäytteinen ja välttämättä suuri kooltaan. Peter Jenni (CERN) ja kumppanit lähtivät suunnittelemaan tällaista laitteistoa.

”Iron Egg” -konsepti on kompaktimpi ja kustannuksiltaan huokeampi. Ongelmana siinä on myonien Coulombin sironta raudassa, joka huonontaa niiden ratojen mittaustarkkuutta. Tätä voidaan kompensoida kasvattamalla magneettikenttää. Käyttämällä magneettien keloissa suprajohteita – suurempia virtoja kuin huoneenlämpöisissä johteissa – voitiin rakentaa voimakkaampia magneetteja. Tällaisia suprajohteisia solenoideja oli rakennettu ja käytetty LEP- ja HERA-kokeissa. ”Iron Egg”-konseptia lähdettiin kehittelemään UA1-kokeessa ansioituneiden fyysikoiden Michel Della Negran, Karsten Eggertin ja Ernst Radermacherin johdolla. Joukko UA1-tutkijoita liittyi mukaan, niin myös SEFLin UA1-ryhmä. SEFLin ryhmälle oli luonnollinen valinta jatkaa yhteistyötä UA1-kokeen instituuttien kanssa. Ajoitukseltaan LHC-projekti sopi myös hyvin SEFLin/SEFTin tulevaisuuden suunnitelmiin. DELPHI-projekti oli aktiivisessa vaiheessa ja LEP-kokeita suunniteltiin jatkettavan 1990-luvun loppuun. LHC-kiihdyttimen käynnistymistä kaavailtiin vuoteen 2005, joten kokeitten porrastaminen näytti järkevältä.

Kun LHC-kokeiden suunnittelu oli lähtenyt konkreettisesti käyntiin, ECFA käynnisti keväällä 1990 laajan esitutkimus-workshop -sarjan, joissa

pyrittiin selvittämään, minkälaisia laitteita kokeissa voitaisiin käyttää, mitä kehitystyötä niitä varten tarvittiin ja mitkä olisivat laitteistojen kustannukset. CERN päätti puolestaan käynnistää Research and Design-ohjelman, jonka tarkoituksena oli testata suunnittelun alla olevien ilmaisin- ja tiedonkeruutekniikoitten toimivuutta CERNin kiihdyttimillä tuotettuja hiukkassuihkuja käyttäen. Tätä varten perustettiin heinäkuussa 1990 Detector Research and Development (DRDC) -komitea (pj. E. Iarocci, Frascati ja INFN), jonka tarkasteltavaksi ehdotukset CERNin kiihdyttimien suihkuajan käytöstä testausja kehityskokeita varten oli esitettävä.

Vuoden 1990 alussa Michel Della Negra ja Ernst Radermacher CERNistä sekä Karsten Eggert (RWTH Aachen) käynnistivät esitutkimuksen ”Iron Egg”-konseptista. Tämä oli projektin alkuvaihe, tarkoitus oli myöhemmin jatkaa koeasemakonseptin kehittelyä kalorimetrian ja ratailmaisimien osalta. Tutkimukseen liittyivät aluksi Aleandro Nisati ja Claudia Wulz CERNistä sekä Veikko Karimäki, Ritva Kinnunen, Martti Pimiä ja Jorma Tuominiemi SEFListä. Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksesta tuli mukaan Esko Pietarinen. Martti Pimiä oli avainhenkilö tässä esitutkimuksessa, sillä hänellä oli käytössään detektorisimulaatio-ohjelmisto, jonka hän oli kehittänyt UA1-koeaseman simulointia varten. Se soveltui suoraan ”Iron Egg”-konseptin simulointiin. Näitten simulaatiotutkimusten perusteella voitiin nopeasti päätellä, että käyttämällä 4–6 T magneettikenttää liikemäärän mittauksen tarkkuus oli parempi kuin 5 % aina 1 TeV asti. Tämä riittäisi Higgsin hiukkasen löytämiseen 700 GeV/c^2 massoihin asti. Suunnitellun koeaseman nimeksi vakiintui tässä vaiheessa ”Compact Muon Solenoid experiment” (CMS). Esitutkimus jakautui osa-alueisiin. Della Negra, Nisati, Kinnunen ja Tuominiemi keskittyivät Higgs-fysiikan simulointiin, Karimäki, Pimiä ja Wulz puolestaan koeaseman simulointiin, jäljentunnistukseen ja myonien ratojen rekonstruointiin. Suprajohtavan kelan suunnittelua veti aluksi Karsten Eggert ja sen otti vastuulleen sittemmin Saclayn laboratorio. Myoni-ilmaisimien suunnittelussa tuli mukaan Aachenin teknillinen korkeakoulu (RWTH) ja Kielin yliopisto. Tiedonkeruujärjestelmää alkoivat suunnitella Sergio Cittolin CERNistä ja Esko Pietarinen SEFListä. SEFLissä simulointitutkimukset tehtiin VTKK:n Cray-tietokoneella ja FLT:n VAX-koneella. Yksityiskohtaisessa ilmaisimien simuloinnissa käytettiin silloin jo pitkälle kehitettyä Computer Aided Design -ohjelmistoa GEANT sekä graafisia työasemia (Helsingissä VAX- ja APOLLO-työasemia). SEFLin ryhmä raportoi simulaatiotutkimuksista kevään 1990 kuluessa ECFA-työryhmien kokouksissa ja tutkimuksen väliraportti esitettiin ECFA:n 18.–19.6.1990 CERNissä järjestämässä LHC-työryhmien yhteisessä kokouksessa. Suomessa SEFLin ryhmä raportoi esitutkimuksesta ja sen tuloksista myös SEFTin johtokunnan tehtäviä hoitavalle SEFT-työryhmälle v. 1990. SEFTin DELPHI-kokeessa verteksiilmaisimen suunnittelussa mukana olleet tutkijat aloittivat työn piinauhailmaisimiin perustuvan ratailmaisimen sijoittamiseksi CMS-koeaseman magneetin sisälle. Näitä tutkimuksia johti FT Tuure Tuuva.

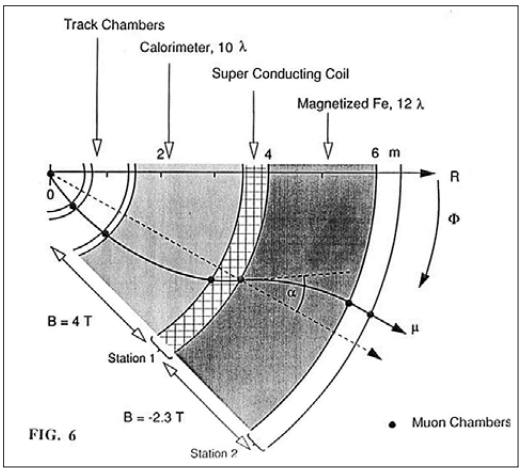


RD5-kokeen kaaviokuva H2-suihkulla. (CERN/DRDC/90-36)

7.3. RD5-koe SPS:llä 1992–1994

UA- ja CDF-kokeitten perusteella tiedettiin, että Higgsin hiukkasen oli oltava raskaampi kuin 80 GeV/c^2, joten sen hajoamisessa syntyneiden myonien liikemäärä saattoi olla yli 100 GeV/c:n luokkaa. Myonien vuorovaikutuksista väliaineen kanssa, erityisesti jarrutussäteilystä ja parinmuodostuksesta tällä energia-alueella ei ollut tarkkoja kokeellisia mittauksia. Jotta ”Iron Egg”-konseptia voitiin vakavasti tutkia, oli mittaustietoa näistä vuorovaikutuksista hankittava. Kesällä 1990 oli saatu koottua yhteistyöryhmä tällaisen tutkimuksen tekemiseksi SPS-kiihdyttimellä. Siihen kuuluivat SEFLin lisäksi CERN, Kielin yliopisto, CIEMAT-tutkimuslaitos (Madrid), Padovan yliopisto, Rooman ”La Sapienza”- ja ”Tor Vergata”-yliopistot, UCLA (USA) ja Wienin Suurenergiafysiikan laitos (HEPHY). Tämä kollaboraatio jätti DRDC-komitealle 30.8.1990 esityksen ”Study of muon triggers and momentum reconstruction in a strong magnetic field for a muon detector at LHC”. Ehdotuksessa esiteltiin samalla ensimmäinen konkreettinen suunnitelma CMS-koeasemasta sekä sen pohjalta tehdyistä simulaatiotutkimuksista. Myonien liikemäärämittausten tarkkuustutkimukset olivat Martti Pimiän tekemiä. Pää-aiheina suunnitellussa kokeessa oli suurenergisten hiukkasten rauta-absorbaattorin läpäisyn (punch-through) mittaus sekä myonien jarrutussäteilyn ja parinmuodostusprosessien tutkiminen yli 100 GeV:n energioilla. Laitteisto oli suunniteltu simuloimaan CMS-koeaseman poikkileikkauksen sektoria. Sen rakentamisessa ehdotettiin myös UA1- ja NA36-EHS-kokeissa käytettyjen laitteiden hyödyntämistä, muun muassa EHS:n 3T suprajohtavan magneetin käyttöä. Testilaitteiston suunniteltiin valmistuvan v. 1991 toisella puoliskolla. Tutkimukseen anottiin ajoaikaa SPS:n H2-suihkussa CERNin Pohjoishallissa vuodeksi 1992. DRDC-komitea hyväksyi ehdotuksen 28.11.1990 ja CERNin Research Board

vahvisti 8.2.1991 kokeen tehtäväksi 1991–1992. Projekti sai koodinimen RD5. Tässä vaiheessa SEFT oli perustettu ja se liittyi kokeeseen. SEFTin vastuulle määriteltiin piinauhailmaisimiin perustuvan beam-teleskoopin rakentaminen ja operointi sekä kalorimetrin data-analyysi. Teleskoopin rakentamisesta ja toiminnasta vastasivat aluksi FT Tuure Tuuva, DI Antti Hentinen, FM Rauno Lauhakangas ja FM Martti Voutilainen, vuosina 1993–94 FM Kenneth Österberg ja DI Mikko Juntunen. RD5:n tracking-kalorimetrin analyysiohjelmiston laati dos. Jorma Tuominiemi. RD5-koe jatkui vuoteen 1994, jolloin kaikki sen tavoitteet tulivat saavutetuksi.



RD5-kokeen simuloinnissa käytetyn CMS-konseptin sektori. (CERN/DRDC/90-36)

7.4. ECFAn LHC workshop Aachenissa v. 1990

Syksyllä 1990, 4.–9. lokakuuta, ECFA järjesti Aachenin Teknillisellä korkeakoululla konferenssin, jossa esiteltiin LHC-kokeiden esitutkimuksien tuloksia. Compact Muon Solenoid -koe-ehdotus esitettiin kokouksessa ensimmäisen kerran. Esityksen piti Martti Pimiä. Raportin allekirjoittajina olivat Della Negra, Eggert, Pimiä sekä M. Lanzacorta ja Fritz Sconcso CERNistä. Esityksen taustatyön oli tehnyt joukko entisiä UA1-tutkijoita. SEFLin ryhmä esiintyi näkyvästi kokouksen rinnakkaisistunnoissa ja CMS-konsepti oli esillä useassa esityksessä. Martti Pimiä raportoi myonien identifiointia käsittelevän työryhmän kokouksessa tekemistään simulointituloksista myonien mittauksesta CMS-konseptilla. Tulokset vahvistivat, että CMS-detektorilla voitiin saavuttaa parempi kuin 6 % liikemäärämittauksen tarkkuus aina 1 TeV/c:lle asti. Samassa rinnakkaisistunnossa Della Negra esitteli DRDC:llle jätetyn esityksen myonitutkimuksesta ja H.Fesefeld käytti CMS-suunnitelmaa teoreettisissa arvioinneissaan hadronien läpäisystä absorbaattorissa. Ritva Kinnunen raportoi simulaatiotuloksista Higgs-työryhmän kokouksessa ja FT Tuure Tuuva puolijohdeilmaisintyöryhmässä.

Uutena elementtinä CMS-koesuunnitelmassa oli tässä vaiheessa jo tarkempi suunnitelma sähkömagneettisen kalorimetrin sijoittamisesta magneetin sisälle elektronien ja fotonien mittaamista varten. Tavoitteena oli Higgsin hiukkasen etsiminen sen hajoamisista kahteen fotoniin. Sähkömagneettisen kalorimetrin suunnitteluun ryhtyivät englantilaiset ryhmät RAL:sta ja Imperial Collegesta Dr. Tejinder Virdeen (CERN, Imperial College) johdolla.

Aachenin kokouksessa esitetyt tulokset vahvistivat, että suunnitellulla energialla ja luminositeetilla LHC-törmäyttimellä pystyttäisiin selvittämään sähköheikon symmetrian rikkoutumista ja Higgsin mekanismia. Vaikka kokeet LHC:lla tulisivat olemaan entistä vaikeampia toteuttaa suuren törmäystaajuuden ja pienenevän signaali/tausta -suhteen vuoksi, tarvittavan teknologian kehittäminen ja kokeitten rakentaminen näytti mahdolliselle 2000-luvun alkuun tähtäävällä aikataululla. CERNin Neuvosto käsitteli LHC-suunnitelmia vuoden 1991 aikana ja päätyi lausumaan, että LHC olisi oikea ratkaisu CERNin seuraavaksi kiihdytinprojektiksi. Lopullista päätöstä ei vielä tehty, mutta Neuvosto kannusti CERNiä aloittamaan aktiivisen R&D-ohjelman sekä kiihdyttimen että kokeiden osalta ja pyysi CERNin johtoa laatimaan LHC:lle rakennussuunnitelman 1993 loppuun mennessä. Esitutkimuksiin osallistuneet instituutit alkoivat nyt hakeutua yhteistyöhön ja suunnitella kokeitten rakennusvastuitten jakoa. Syntyi proto-kollaboraatioita kokeitten toteuttamiseksi.

7.5. LHC-koe-ehdotusten käsittely 1992–1993

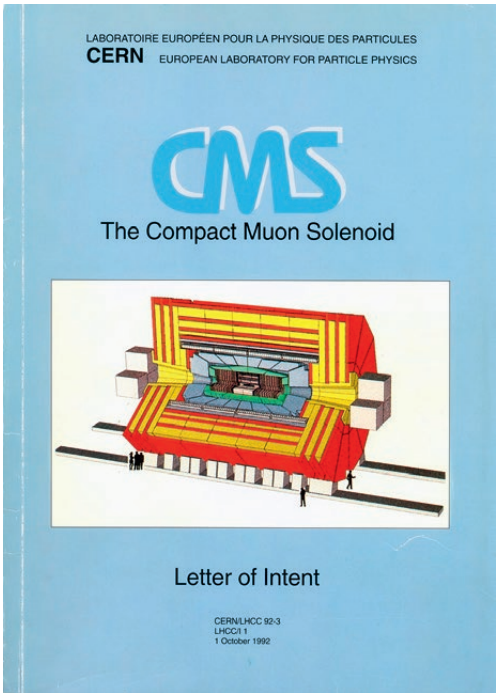
Maaliskuussa 1992 CERN ja ECFA järjestivät Ranskan Evianissa LHC-kokouksen, jossa esiteltiin konkreettiset suunnitelmat neljästä LHC- kokeesta ”Expression of Interest” -dokumenttien muodossa (EAGLE, ASCOT, CMS, L3P). Myös suunnitelmia raskas-ionikokeesta, B-fysiikkaan keskittyvästä kokeesta ja neutriinokokeista käsiteltiin, mutta niistä ei vielä ollut saatu valmiiksi Expression of Interest -raportteja. CMS-kokeen ehdotuksessa oli nyt mukana myös sähkömagneettinen ja hadronikalorimetri sekä keskusratailmaisin. Kokouksen jälkeen CERN ja ECFA päätyivät ehdottamaan, että EAGLE- ja ASCOT-hankkeet yhdistettäisiin, kun ne molemmat perustuivat toroidimagneetteihin myonien liikemäärän mittauksessa. Samoin CMS- ja L3P-hankkeita pyydettiin tarkastelemaan yhdistämismahdollisuuksia, kun niissä molemmissa myonien mittaus perustui suureen solenoidimagneettiin. CERNin pyrkimyksenä oli päätyä kahteen protoni-protoni-koe-ehdotukseen. Lopulliset Letter of Intent (LoI) -dokumentit pyydettiin toimittamaan 1.10.1992 mennessä LHC-komitealle, jonka CERN oli perustanut Evianin kokouksen jälkeen käsittelemään LHC-koe-ehdotuksia. Suomesta komitean jäseneksi oli kutsuttu professori Keijo Kajantie.

Neuvottelut ASCOT- ja EAGLE-hankkeiden välillä johtivat yhdistettyyn uuteen ehdotukseen ja Letter of Intent -dokumenttiin ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) -nimikkeellä. ATLAS-protokollaboraation puhemiehiksi valittiin Peter Jenni ja Friedrich Dydak CERNistä. Neuvotteluja CMS- ja L3P-hankkeitten välillä käytiin myös heti Evianin kokouksen jälkeen, mutta yhteisymmärrykseen oli vaikea päästä. Kokeiden prioriteetit olivat liian erilaiset. CMS-kokeen ykköstavoitteena oli myonien ratojen mittaaminen suurella tarkkuudella voimakkaassa magneettikentässä (4 T). Tämän tueksi ehdotettiin

CMS-fyysikoita tauolla Evianin konferenssissa 1992. Vasemmalta Michel Della Negra (CERN), Jorma Tuominiemi (Helsinki, SEFL), Ritva Kinnunen (Helsinki, SEFT), Tuure Tuuva (Helsinki, SEFT)

mahdollisimman tarkkaa sähkömagneettista kalorimetria sekä korkealuokkaista keskusratailmaisinta törmäyspisteen ympärillä. UA1-kokeesta saatujen kokemusten perusteella tarvittiin liikemäärän tarkkaan mittaukseen vähintään 12 mittauspistettä hiukkasten radoista, jolloin ilmaisimen ulkosäteeksi tuli 1,2 metriä. Ilmaisimiksi suunniteltiin tässä vaiheessa Microstrip Gas Chamber (MSGC) -sensoreita. Ilmaisinjärjestelmä oli kompakti, alidetektorit rajoittuivat toisiinsa. L3P-suunnitelman pääprioriteettina taas oli kookas kidekalorimetri (sisäsäde 3m) elektronien ja fotonien energian tarkkuusmittausta varten. Myonin liikemäärämittaus ehdotettiin tehtäväksi 3 T solenoidilla ja ratailmaisilla 2 m etäisyydelle törmäyspisteestä. Ratailmaisin oli lähinnä tukemassa e/gamma -mittausta. CMS- ja L3P-koekonseptien yhdistäminen olisi vaatinut suuria muutoksia ja kompromisseja, minkä lisäksi kustannusarvio olisi kasvanut. Näin päädyttiin erillisten Letter of Intent -dokumenttien jättämiseen LHC-komitealle. CMS-proto-kollaboraation puhemieheksi tuli Michel Della Negra CERNistä ja projektikoordinaatiosta vastaavaksi varapuhemieheksi Risto Orava SEFTistä. L3P-protokollaboraation puhemieheksi tuli professori S.C.C. Ting MIT:sta. LHC-komitea kokoontui ensimmäisen kerran 2.10.1992 professori J.J. Aubertin (Marseillen yliopisto) puheenjohdolla. Kokeiden rahoituksen selvittämistä varten perustettiin vielä erillinen Cost Review (CORE) -komitea, joka koostui hiukkasfyysikoista, joilla oli kokemusta suurten koehankkeiden kustannusarvioitten laatimisesta.

Saatuaan Letter of Intent -dokumentit LHC-komitea asetti kullekin hankkeelle arvioijat yksityiskohtien tarkastelua varten. Lisäksi hankkeita pyydettiin toimittamaan selvitykset koeasemien rahoitussuunnitelmista



CMS-koe-ehdotuksen Letter of Intent -dokumentin kansi.

CORE-komitealle sekä kokeiden mahdollisesta vaiheistamisesta. LHC-komitean kokouksessa 8.–9.12.1992 arvioijat esittivät kommenttinsa koe-ehdotuksista. Komitea piti kannatettavana CMS:n ehdotuksessa esiteltyjä myonidetektoria ja keskusratailmaisinta vahvassa magneettikentässä. Sen sijaan ehdotettu CeF-kiteisiin perustuva kalorimetri herätti epäilyjä. L3P-ehdotukseen suhtauduttiin kriittisemmin ja sen resurssien riittävyyttä epäiltiin. CMS sai enemmän kannatusta kuin L3P. Kun LHC-komitean pyrkimys oli kohti yhtä solenoidiehdotusta, se päätyi edelleen ehdottamaan CMS:n ja L3P:n yhdistämistä. Kaikkien ehdotusten kokonaiskustannukset ylittivät vielä CERNin asettamat rajat, joten kaikkia kolmea proto-kollaboraatiota pyydettiin vaiheistamaan ehdotuksiaan kustannusten pienentämiseksi 30 %.

LHC-komitean painostuksesta neuvottelut CMS:n ja L3P:n yhdistämisestä aloitettiin uudelleen vuoden 1993 alussa. Asiasta järjestettiin useita kokouksia CMS:n ja L3P:n tutkijoiden kesken. SEFT oli asiassa aktiivinen ja järjesti aiheesta seminaarin Hanasaaressa Helsingissä 25.–26.2.1993. Kokouksessa laadittiin vielä yksi vaihtoehto yhdistetylle suunnitelmalle. Se sai nimen ”Helsinki design”. Neuvottelut kuitenkin takkuilivat eikä yksimielisyyttä yhteisestä ehdotuksesta saavutettu. Syitä oli useita, mutta yksi niistä oli se, että CMS- ja L3P-hankkeiden parhaitten puolien yhdistäminen olisi johtanut ehdotukseen, jonka kustannukset olisivat selvästi ylittäneet CERNin asettaman kustannuskaton (300 milj, Sveitsin frangia). Loppujen lopuksi LHC-komitean kokoukseen mentiin jälleen erillisillä ehdotuksilla.

LHC-komitea piti seuraavan kokouksensa 6.–8. huhtikuuta 1993. Lähtökohtana oli, että tähdättiin kahteen protoni-protonikokeeseen, joiden aikataulu tuli synkronoida. Koelaitteistoille esitettiin kolme päävaatimusta: mahdollisimman tarkka ja robusti leptonien identifiointi, tarkka sähkömagneettinen kalorimetri ja suorituskykyinen ratailmaisin. Näistä ratailmaisimen suunnittelu näytti kaikkein haastavimmalle, ja sen arveltiin vaativan uusia innovatiivisia ratkaisuja. Tarkastettuaan Letter of Intent -esitykset LHC-komitea päätyi siihen, että ATLAS- ja CMS-ryhmittymien esittämät ilmaisinkonseptit täyttivät edellä esitettyjä vaatimuksia paremmin kuin L3P-konsepti. Se katsoi, että ATLAS- ja CMS-kollaboraatioiden esittämät LoI- ja

vaiheistusdokumentit voivat muodostaa perustan lopullisille koe-ehdotuksille (Technical proposal). Arvioidut rakennuskustannukset katsottiin vielä liian suuriksi ja ATLAS- ja CMS-proto-kollaboraatioita kehotettiin tarkastelemaan kokeiden vaiheistusmahdollisuuksia lisäsäästöjen aikaansaamiseksi.

Huhtikuun 28.–30.4. 1993 järjestettiin Uppsalan yliopistossa LHC-kokeita käsittelevä ”The 3rd Nordic LHC Workshop”, joka kokosi yhteen pohjoismaiset fyysikot, jotka työskentelivät LHC-koesuunnitelmien parissa. Konferenssissa olivat vielä esillä kaikki kolme LHCC:lle esitettyä koeasemaehdotusta. Peter Jenni piti esityksen ATLAS-projektista, Michel Della Negra CMS-projektista ja S.C.C. Ting L3P-projektista. Lisäksi R. Orava esitteli ”Helsinki Design”- malliin perustuvan suunnitelman (”A solenoid detector for LHC”). Nyt myös raskas-ioni-koesuunnitelma ALICE tuli esitellyksi H-Å. Gustafssonin (Lund) esitelmässä. Rinnakkais-istunnoissa FT T. Tuuva, DI M. Laakso ja DI T. Schulman käsittelivät pii-ilmaisimia LHC-kokeisiin ja DI Antti Onnela (CERN) CMS-kokeen ratailmaisimen tukirakennetta koskevia suunnitelmia. Fysiikan analyysiä käsittelevässä istunnossa J. Tuominiemi piti simulointitutkimuksia koskevan esitelmän ”Search for supersymmetric Higgs bosons in the CMS detector at LHC” ja M.Pimiä esityksen ”Tracking at high luminosity”.

CERNin Research Board käsitteli LHC-komitean suosituksia kokouksissaan 15. ja 23.4.1993. Se asettui kannattamaan LHC-komitean loppupäätelmää, jonka mukaan LHC:n pp-koeohjelma voitaisiin muodostaa ATLAS- ja CMS-ehdotusten pohjalle. Lisäoptimointia tarvittiin kuitenkin koeasemien komplementaarisuuden takaamiseksi sekä kustannusten karsimiseksi. Kokeitten rakennuskustannusten katoksi asetettiin yhteensä 600 miljoonaa Sveitsin frangia. Muodollinen päätös ATLAS- ja CMS-ehdotusten hyväksymisestä siirrettiin vielä Research Boardin v. 1993 kesäkuun kokoukseen. Research Board painotti, että LHC-tutkimusohjelman tuli olla avoin kaikille asiasta kiinnostuneille ja rohkaisi hiukkasfyysikoitten yhteisöä keskittymään hyväksyttyjen kahden koeasemasuunnitelman taakse. Tässä ajateltiin ennen kaikkea L3P-ehdotuksessa mukana olleita fyysikoita, jotka edustivat huomattavaa osaa alan asiantuntemuksessa.

LHC-komitea jatkoi puolestaan asian käsittelyä vielä kokouksessaan 8.–9.6.1993. Komitea oli käynyt keskustelut ATLAS- ja CMS-kollaboraatioiden kanssa vielä esillä olleista kysymyksistä ja päätti nyt muodollisesti suositella CERNin johdolle, että ATLAS ja CMS etenisivät kohti Technical Proposal -vaihetta. Samalla se laati listan välitavoitteista, joihin se pyysi vastauksia marraskuuhun 1993 mennessä. Research Board hyväksyi LHC-komitean suositukset kokouksessaan 17.6.1993. Näin lopullinen vihreä valo oli annettu ATLAS- ja CMS-ehdotuksien jatkokäsittelylle. Technical Proposal -dokumentit pyydettiin toimitettavaksi LHCC:lle vuoden 1994 loppuun mennessä.

7.6. Suomalaiset ryhmät LHC-kokeiden suunnittelussa 1990–1994

Suomalaiset tutkimusryhmät SEFTistä, SEFListä, Teknillisestä korkeakoulusta, Tampereen teknillisestä korkeakoulusta ja Åbo Akademista olivat CMS-kokeen Evianin kokouksen Expression of Interest -ehdotuksen takana. Letter of Intent -vaiheeseen tuli lisäksi mukaan tutkijaryhmä Jyväskylän ja Oulun yliopistoista. Tämän CMS-projektin päälliköksi SEFTin johto nimitti Martti Pimiän. Tässä vaiheessa ehdotuksessa esitetty CMS-koeasema oli jo pääpiirteissään sama kuin lopulta toteutunut laitteisto. Keskusratailmaisin oli suurelta osalta, piinauhailmaisimen osalta kokonaan Tuure Tuuvan vetämän SEFTin ryhmän suunnittelema. Edelleen CMS-koeaseman simulointi- ja analysointipakkaus CMSSIM-CMSANA oli pääasiassa V. Karimäen ja M. Pimiän laatima. Karimäki ja Pimiä toimivat CMS:n teknisen komitean jäseninä. Koeasemasta oli tehty täydellinen GEANT-ohjelmistoon perustuva virtuaalisimulaatio (V. Karimäki). Tähän perustuen tehtiin ensimmäiset simulaatiotutkimukset standardimallin Higgsin bosonin etsimisestä ZZ-hajoamiskanavassa sekä MSSM-mallin sähkövarauksellisen Higgsin bosonin etsimisestä. Simulaatioissa käytettiin professori Torbjörn Sjöstrandin (Lund) PYTHIA -ohjelmistoa. Higgsin hiukkasen etsintää koskevista simulaatiotutkimuksista syntyi 1990-luvun aikana useita julkaisuja hedelmällisessä yhteistyössä erityisesti Dr. Daniel Denegrin (CEA Saclay, Pariisi) kanssa.

CMS:n tiedonkeruujärjestelmän suunnittelua johtava Dr. Sergio Cittolin (CERN) otti v. 1991 yhteyttä Tampereen TKK:n elektroniikan laboratorion professoriin Yrjö Neuvoon ja ehdotti yhteistyötä signaalinkäsittelyyn TTKK:lla kehitettyjen uusien menetelmien soveltamiseksi CMS:ssä. Aiheesta järjestettiin symposiumi kesäkuussa 1992 Tampereella TTKK:lla. Yhteydenoton seurauksena Neuvon oppilaat DI Sami J. Inkinen, DI Jarkko Niittylahti ja myöhemmin DI Tuukka Vaaraniemi työskentelivät CERNissä Cittolinin kanssa RD12-projektissa, jossa testattiin CMS-laitteiston tiedonkeruujärjestelmään rakennettuja prototyyppilaitteistoja. Inkinen, Niittylahti ja Vaaraniemi tekivät projektista väitöskirjat TTKK:ssa.

Vuonna 1992 SEFTin johtaja Risto Orava oli päättänyt liittyä mukaan myös ATLAS- ja L3P-hankkeisiin. SEFTin ryhmän suunnittelema ratailmaisin kiinnosti myös muita proto-kollaboraatioita. SEFT lisäsi panostaan L3P-hankkeeseen ja lähti voimakkaasti ajamaan CMS- ja L3P-konseptien yhdistämistä. Kun yhdistäminen sitten 1993 alussa osoittautui mahdottomaksi, SEFT irtautui johtaja Oravan päätöksellä CMS-hankkeesta ennen LHC-komitean kokousta huhtikuussa 1993 ja keskittyi L3P-projektiin. Johtaja Orava kuitenkin hyväksyi yksittäisten tutkijoiden jatkamisen CMS:ssä ja näin Martti Pimiä ja Veikko Karimäki työskentelivät edelleen myös CMS-projektissa yhdessä SEFLin tutkijoiden kanssa.

CMS TN / 92 - 08
March 16th, 1992

Search for $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4$ Leptons with the CMS Detector at the LHC

R. Kinnunen[1], H. Plothow-Besch[2], J. Tuominiemi[1]

Abstract

Possibilities for observing the Standard Model Higgs boson in the "Intermediate mass region", 120 GeV/c^2 < m_{Higgs} < 180 GeV/c^2, through its four lepton decays, electrons and muons, have been studied with a GEANT simulation of the proposed CMS detector at the LHC.

---

1) Dept. of Physics, Laboratory of High Energy Physics, University of Helsinki
2) CERN-PPE, CH - 1211 Genève 23, Switzerland

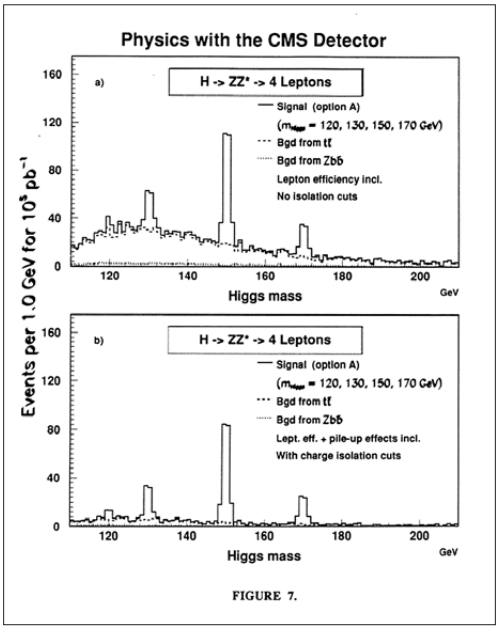


FIGURE 7.

Simulointituloksia Higgsin hiukkasen etsinnälle hajoamiskanavassa H -> neljä leptonia (μμ, ee). Kuva Letter of Intent -dokumentista.

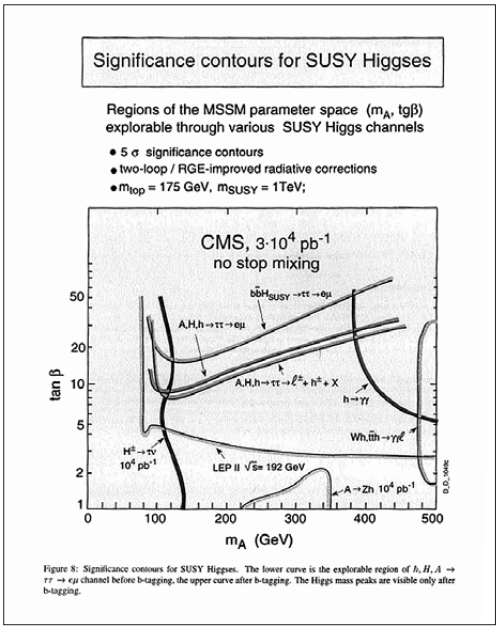


Figure 8: Significance contours for SUSY Higgses. The lower curve is the explorable region of $h, H, A \to \tau\tau \to e\mu$ channel before b-tagging, the upper curve after b-tagging. The Higgs mass peaks are visible only after b-tagging.

Simulointituloksia sähkövarauksellisen Higgsin bosonin etsinnälle. Kuva Letter of Intent -dokumentista.

CERNin johdon kesäkuussa 1993 hyväksyttyä ATLAS- ja CMS-koeehdotukset jatkosuunnitelmien pohjaksi oltiin tilanteessa, jossa suomalaiset CMS Letter of Intent-dokumentin allekirjoittaneet ryhmät SEFTiä lukuun ottamatta jatkoivat CMS-hankkeessa. L3P-projektin kaaduttua SEFT oli mukana vain ATLAS-projektissa pienellä panoksella. Sen sijaan SEFT liittyi nyt LEP-törmäyttimellä käynnissä olleeseen L3-kokeeseen. Tilanne nostatti kritiikkiä suomalaisten LHC-aktiviteeteissa mukana olleitten tutkijoiden keskuudessa ja painostus SEFTin liittymisestä uudelleen CMS-projektiin lisääntyi. Lopulta saatiin aikaan CMS:n johdon ja SEFTin johdon välille uusi yhteydenotto. Tämä johti 13.10.1993 SEFTille jätettyyn projektianomukseen, jonka allekirjoittajina olivat Mika Huhtinen, Veikko Karimäki, Juha Kuuri ja Martti Pimiä SEFTistä sekä Ritva Kinnunen, Tomas Lindén ja Jorma Tuominiemi SEFListä. Lisäksi hankkeessa olivat mukana TKL Kalevi Ekmanin johtama insinööriryhmä HTI:stä sekä tutkijaryhmät Jyväskylän ja Oulun yliopistosta sekä Tampereen Teknillisestä yliopistosta.

Projektianomuksessa esitettiin, että SEFT jatkaisi osallistumistaan CERNin CMS-projektiin kaikissa niissä hankkeissa, joissa se oli jo ollut aktiivinen Letter of Intent -vaiheessa. Suomalaisilla tutkijoilla oli vahva asema CMS:n ratailmaisimen suunnittelussa ja Suomessa rakennettuja piinauhailmaisimia testattiin RD5-kokeessa CERNissä. Myös SEFTissä tehty MSGC-kaasuilmaisimien kehitystyö osoittautui kiinnostavaksi ratailmaisimen

suunnittelussa. Ratailmaisimen tukirakenteen suunnittelu taas oli aloitettu HTI:ssa TkL Kalevi Ekmanin johdolla. Ohjelmistopuolella suomalaiset tutkijat olivat edelleen keskeisessä asemassa ratailmaisimen rekonstruktio-ohjelmien kehittämisessä ja CMS-koeaseman suorituskyvyn tutkimisessa simulaatio-ohjelmien avulla. CMS-kokeessa jatkamista käsiteltiin johtokunnan kokouksissa syksyllä 1993 ja SEFTin johto päätti sisällyttää sen vuoden 1994 tutkimussuunnitelmaan. Projektin vastuulliseksi johtajaksi nimitettiin Jorma Tuominiemi.

Kesällä 1994 CERN ryhtyi organisoimaan LHC-kokeiden rahoitusta niin, että suunnitelmat siitä voitaisiin sisällyttää valmisteilla olleisiin Technical Proposal -raportteihin. CERN nimitti CMS- ja ATLAS-kokeisiin resurssipäälliköt omasta henkilökunnastaan. Heidän tehtäväkseen määriteltiin kokeiden rakennuskustannusten arvioinnin koordinointi ja rahoitussuunnitelmien kokoaminen kollaboraatiolta. CMS-kokeen resurssipäälliköksi CERN nimitti Dr. Diether Blechschmidtin. Hän otti johtaakseen CMS:n Finance Review -komitean, johon koottiin eri alidetektorien koordinaattorit sekä CMS-projektin osanottajamaiden yhteyshenkilöt. Yhteyshenkilöinä toimivat yleensä projektin vastuuhenkilöt kyseisissä maissa, Suomen tapauksessa SEFTin johtokunnan nimittämänä Jorma Tuominiemi.

Seuraavaksi CERNin LHC-komitean Cost Review (CORE) -alikomitea pyysi ATLAS- CMS- ja ALICE-kokeita esittämään uuden arvion koeasemien rakennuskustannuksista ja rahoitussuunnitelmista LHC-komitean kokoukseen 19.9.1994. Rahoitussuunnitelmien laatimiseksi CMS-kokeen johto esitti, että se voisi tavata Technical Proposal -dokumentin tekoon osallistuvien osanottajamaiden rahoituksesta päättäviä tahoja mahdollisimman korkealla taholla. Blechschmidtin pyynnöstä J. Tuominiemi jätti 15.8.1994 SEFTin johdolle muistion tällaisen korkean tason kokouksen järjestämisestä Suomessa. Samalla hän teki ehdotuksen, että Suomi osallistuisi CMS-kokeen laiterakennuskulujen kattamiseen ottaen lähtökohdaksi Suomen prosenttiosuuden CERNin vuosibudjetista. Sen perusteella päädyttäisiin n. 5 miljoonan Sveitsin frangin eli n. 20 miljoonan markan kontribuutioon. Tämän jälkeen SEFTin johtaja Risto Orava teki 22.8.1994 johtokunnalle esityksen, jossa hän pyysi valtuuksia ryhtyä toimenpiteisiin 20 Mmk:n hankkimiseksi CMS-projektiin osallistumista varten. Johtokunta keskusteli esityksestä kokouksessaan 8.9.1994 ja valtuutti johtaja Oravan neuvottelemaan asiasta CMS:n johdon kanssa. Samalla todettiin, että koska LHC:n rakennuspäätöstä ei vielä ollut tehty, virallisia sitoumuksia ei vielä voitu solmia. Lokakuussa 1994 Resurssipäällikkö Blechschmidt vieraili Helsingissä ja neuvotteli rakennusrahoituksen suunnittelusta SEFTin johtokunnan puheenjohtajan Jorma Routin ja johtaja Risto Oravan kanssa.

CERNin pääjohtaja Carlo Rubbian kausi oli tullut päätökseen vuoden 1993 lopussa. Uudeksi pääjohtajaksi tuli professori Christopher Llewellin Smith Britanniasta. Uusi johto sai valmiiksi LHC:n rakentamissuunnitelman

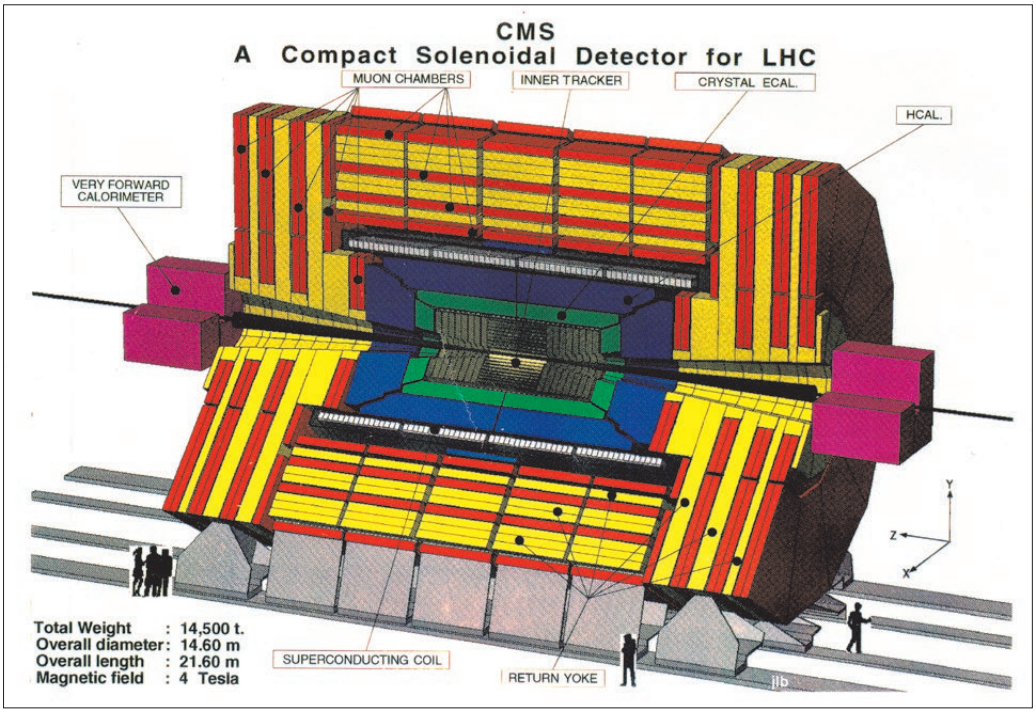
v. 1994 aikana. CERNin Neuvosto teki joulukuussa 1994 sen pohjalta päätöksen LHC:n rakentamisesta. Näin alkoi kokeiden rahoituksen suunnittelussa uusi vaihe. CERNin tutkimusjohtaja Lorenzo Foá vieraili Suomessa kesäkuussa 1995. Hän tapasi SEFTin johtokunnan jäseniä ja suomalaisia CERNissä työskenteleviä fyysikoita. Hänen vierailuohjelmaansa sisältyi myös neuvottelu opetusministeriössä opetusneuvos Hilkka Hämäläisen, Suomen Akatemian tutkimusjohtajan professori Jorma Hattulan sekä SEFTin johtokunnan jäsenen professori Eero Bycklingin kanssa. Byckling oli valmistellut tapaamisen ministeriön kanssa. Käydyssä keskustelussa Hämäläinen ilmoitti, että esillä ollutta 5 MCHF osallistumismaksua CMS-koeaseman rakentamiseen pidettiin opetusministeriössä mahdollisena. Tämän jälkeen SEFTin johtokunta päätti kokouksessaan 24.8.1995 sitoutua rahoittamaan CMS-koetta CERNissä 10 vuoden aikana yhteensä 5 MCHF edellyttäen, että rahoitus järjestyy.

CMS-kokeen Resource Review -komitea piti ensimmäisen kokouksen CERNissä 20.10.1995, jossa käytiin läpi eri maiden ilmoituksia osallistumismaksun suuruudesta. SEFTin johtokunnan nimeämänä Suomen edustajana kokoukseen osallistui J. Tuominiemi. Hän esitti kokouksessa opetusneuvos Hämäläisen kanssa valmistellun ilmoituksen, että Suomen tavoitteena oli sijoittaa 5 MCHF CMS-koeaseman rakennuskustannuksiin 1996–2004.

7.7. CMS Technical proposal 1994 CMS-kokeeseen osallistumisen laajeneminen

CMS-kollaboraatio jatkoi koeaseman suunnittelua v. 1993 hyväksytyn Letter of Intent -esityksen pohjalta. Tästä toimitettiin väliraportit LHC-komitealle lokakuussa 1993 ja toukokuussa 1994. Hankkeeseen liittyi nyt myös uusia instituutteja.

Yhdysvaltojen kongressi oli marraskuussa 1993 päättänyt keskeyttää SSC-törmäytinhankkeen, jossa kokeiden suunnittelu oli ollut jo pitkällä. Kokeiden suunnitteluun osallistuneet instituutit olivat yhtäkkiä tyhjän päällä, joten ei ollut ihme, että ne suuntasivat katseensa CERNiin. Jo joulukuussa 1993 järjestettiin CERNissä kokous, johon osallistui SSC:lle suunniteltujen SDC- ja GEM-kokeiden jäseniä. CMS-kollaboraatio ilmoitti olevansa kiinnostunut yhdysvaltalaisten ryhmien osallistumisesta hadronikalorimetrin suunnitteluun ja rakentamiseen, etusuunnan myoni-ilmaisinjärjestelmän rakentamiseen, keskusratailmaisimen rakentamiseen ja CMS:n tiedonkeruujärjestelmän suunnitteluun. Huhtikuussa 1994 yhdysvaltalaiset ryhmät muodostivat US-CMS-kollaboraation, jossa oli mukana 37 instituuttia (273 jäsentä). Kollaboraatio jätti Yhdysvaltojen tiedehallinnolle (Department of Energy, DoE) esityksen sen vastuulle kaavaillusta hankkeista CMS-projektissa, hankkeiden organisoinnista ja tarvittavista määrärahoista. Saatuaan hyväksynnän rahoitukselle DoE:lta amerikkalainen yhteistyöryhmä liittyi syksyllä CMS-



CMS-koeasemasuunnitelma 1994. (CMS Technical Proposal 1994)

kollaboraatioon ottaen vastuun hadronikalorimetrin ja etusuunnan myoni-alidetektorin rakentamisesta sekä osallistumisesta keskusratailmaisimen, sähkömagneettisen kalorimetrin, tiedonlukujärjestelmän sekä liipaisujärjestelmien suunnitteluun ja rakentamiseen.

CMS:n toukokuussa 1994 LHC-komitealle jättämään tilanneraporttiin oli liittynyt mukaan myös 12 uutta CERNin jäsenmaiden instituuttia, niiden joukossa suuria yliopistoja ja tutkimuslaitoksia kuten Saclay Ranskasta, RWTH Aachen Saksasta ja ETH Zurich ja Paul Scherrer -instituutti (PSI) Sveitsistä. Kaikki nämä instituutit olivat erityisesti kiinnostuneet kideilmaisimiin perustuvan sähkömagneettisen kalorimetrin kehittämisestä. Seuraavaksi 250 jäsentä 25 Dubnan tutkimuslaitoksen (JINR) jäsenmaan hiukkasfysiikan instituuteista päätti organisoitua yhtenäiseksi RDMS (Russia/Dubna Member States) -kollaboraatioksi CMS:n sisällä amerikkalaisten organisaatiomallia seuraten.

CMS-proto-kollaboraatio jätti Technical proposal -dokumenttinsa CERNille joulukuussa 1994. Sen allekirjoitti 1243 jäsentä 132 instituutista. Noin 50 % allekirjoittajista tuli CERNin jäsenmaiden ulkopuolelta. Koeaseman rakennuskustannuksiksi arvioitiin 459 MCHF. Tässä vaiheessa rakennusaikataulu arvioitiin hyvin optimistisesti, koeaseman katsottiin voivan olla valmis 2002, edellyttäen että anotut resurssit olisivat käytettävissä.

Technical Proposalin myötä CMS-hanke muuttui lopullisesti CMS-protokollaboraatiosta CMS-kollaboraatioksi. Jokaiselle alidetektorille muodostettiin alikollaboraatio, jolla oli oma Management Board ja Technical Board. CMS-koeaseman perusrakenne oli sama kuin oli esitetty jo Evianin kokouksessa Letter of Intent - dokumentissa. CMS-kollaboraation puhemieheksi valittiin Michel Della Negra CERNistä, varapuhemieheksi Dr. Tejinder Virdee (Imperial College, Lontoo), resurssijohtajaksi Dr. Diether Blechscmidt (CERN), teknilliseksi koordinaattoriksi Dr. Ernst Radermacher (CERN) ja fysiikan koordinaattoriksi Dr. Daniel Denegri (Saclay). Collaboration Boardin puheenjohtajaksi valittiin Dr. Robert Brown (RAL).

Suomesta CMS-kokeen TP:n allekirjoitti 18 jäsentä HTI:sta, SEFTistä, Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksesta sekä Jyväskylän ja Oulun yliopistoista ja Tampereen Teknillisestä korkeakoulusta. Helsingin ryhmä jatkoi osallistumistaan CMS:n keskusratailmaisimen (keskus-trackerin) ja muonidetektorin simulointiin. Veikko Karimäki nimitettiin simuloinnin koordinaattoriksi ja CMS:n Tracker Technical Boardin jäseneksi. Trackerin simulointikoodi sisältyi CMS:n CMSSIM software -järjestelmään, jota oli käytetty koeaseman optimointiin Technical Proposal -dokumenttia varten. Karimäki tutki erityisesti trackerin liikemäärä- ja verteksirekonstruktion tarkkuutta sekä b-kvarkin identifiointiin liittyviä ongelmia. Fysiikan simuloinnissa keskityttiin standardimallin Higgsin hiukkasen hajoamisen tutkimiseen ja sen havaittavuuden arviointiin CMS-koeasemalla (Ritva Kinnunen, Jorma Tuominiemi). Simulointitutkimuksia laajennettiin Minimal Supersymmetric mallin (MSSM) ennustamien useamman Higgsin hiukkasten etsintään Technical Proposal -dokumenttia varten. Tätä varten tarvittiin tutkimuksia impaktiparametrin mittausmahdollisuuksista B-mesonien ja tau-leptonien identifiointia varten. Tau-leptonien polarisaation hyödyntäminen tuli mukaan simulointiin jo tässä vaiheessa. Ritva Kinnusen vastaväittäjän, professori C.P. Royn laskemat hajoamismatriisielementit, joissa hiukkasten helisiteetit olivat eksplisiittisesti mukana, implementoitiin PYTHIA-generaattoriin. Simulointitutkimukset osoittivat myös mikroverteksi-pikseli-ilmaisimen tärkeyden tau -leptonin impaktiparametrin mittauksissa.

CMS-koeaseman syntyneiden hiukkasten aiheuttaman säteily-ympäristön simulointia jatkettiin edelleen HTI:n CMS-ryhmässä (Mika Huhtinen, Pertti Aarnio). Simuloinnissa käytettiin TKK:lla kehitettyä FLUKA-simulointi-ohjelmistoa. Näillä tutkimuksilla oli tärkeä rooli CMS-koeaseman säteilysuojarakenteiden suunnittelussa. Toinen HTI/SEFT-yhteistyöprojekti oli matalaenergisten pionien ratailmaisimien piinauhailmaisimissa aiheuttamat säteilyvauriot. Simulaatioiden verifioimiseksi HTI:n CMS-ryhmä teki CERNin RD2- ja RD20-ryhmien kanssa pii-ilmaisimien säteilytyksiä Paul Scherrer -instituutin pionisuihkussa v. 1994 kesällä. Säteilytetyt ilmaisimet olivat VTT:llä valmistettuja pin-diodeja. Tuloksilla oli merkitystä piinauhailmaisimien säteilynkestävyyden parantamisessa. Töistä syntyi myös väi-

töskirja. Mika Huhtinen väitteli TKK:lla 31.5.1996 aiheesta ”The Radiation Environment at the CMS Experiment at the LHC”. Vastaväittäjänä toimi Dr. A. Ferrari Milanon yliopistosta.

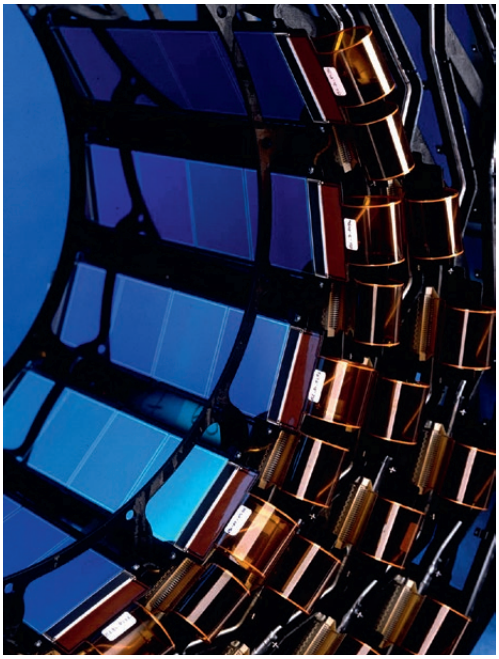
HTI jatkoi TkL Kalevi Ekmanin ja TkL Pekka Salosen johdolla CMS:n Tracker-ilmaisimen tynnyriosan tukirakenteen suunnittelua. Työhön osallistuivat DI Tommi Nyman ja DI Nina Salminen TKK:lla ja DI Antti Onnela CERNissä yhdessä CERNin insinööriryhmän kanssa. Ensimmäinen suunnitelma saatiin valmiiksi Technical Proposal -dokumenttiin.

Kun CERNin Neuvosto päätti kokouksessaan 16.12.1994 LHC-törmäyttimen rakentamisesta, siirryttiin tositoimiin. Lopullinen sinetöinti ATLAS- ja CMS-projektien hyväksymiselle saatiin vuoden 1995 lopulla. LHC-komitea oli saanut valmiiksi niiden Technical proposal -dokumenttien ja niitä seuranneitten lisädokumenttien tieteellisen ja teknillisen arvioinnin sekä päivitettyjen rahoitussuunnitelmien verifioinnin. Arvioitavana olivat myös projektien laatimat aikataulut välitavoitteille, joiden perusteella rakennussuunnitelmia kehitettäisiin edelleen. LHC-komitea suositteli CERNin johdolle 21.11.1995 ATLAS- ja CMS-projektien hyväksymistä. Suosituksessa esitettiin, että projektin seuraava vaihe olisi alidetektorien Technical Design -raporttien laadinta koeasemien rakentamista varten. CERNin Research Board hyväksyi 7.12.1995 ATLAS- ja CMS-projektien toteuttamisen ja CERNin pääjohtaja, Chris Llewellyn Smith vahvisti päätöksen 31.1.1996. Koeasemien rakennuskustannuksien ylärajaksi asetettiin 475 MCHF.

SEFTin tutkijoita oli v. 1993 liittynyt myös ATLAS-kollaboraatioon. ATLAS-kokeen Technical proposal-dokumentissa olivat SEFTistä allekirjoittajina DI Panu Jalas ja DI Tom Schulman, jotka olivat mukana ATLAS-koeaseman piinauhailmaisimien kehitystyössä. Lisäksi ATLAS-kokeessa oli mukana FT Paula Eerola, joka kuului CERNin henkilökuntaan, mutta oli myös SEFTin adjungoitu tutkija. Eerola oli vastuussa ATLAS-kokeen B-fysiikan simulaatiotutkimuksissa ja aktiivisena kokeen suunnittelussa CERNissä ja Lundin yliopistossa aina vuoteen 2009 asti, ennen siirtymistään professoriksi Helsingin yliopiston Fysiikan laitokseen ja Fysiikan tutkimuslaitokseen.

7.8. Kohti CMS Technical Design Report -vaihetta 1994–2000

CERNin vuoden 1996 tammikuussa tekemässä ATLAS- ja CMS-projektien lopullisessa hyväksymispäätöksessä asetettiin seuraavaksi tavoitteeksi koeaseman osien Technical Design Report -dokumenttien laatiminen, joiden pohjalta koeasemien rakentaminen voitaisiin aloittaa. Tähän vaiheeseen etenemiselle oli jo suunniteltu välitavoitteet, jotka CERNin LHC-komitea oli hyväksynyt. Tavoitteisiin sisältyi alidetektorien suunnittelu ja prototyyppien rakentaminen. Alidetektorien rakennussuunnitelmia tehtäessä hyödynnettiin jo täysipainoisesti Computer Aided Design (CAD) -menetelmiä sekä Tim Berners-Leen CERNissä v. 1989 kehittämää www-järjestelmää dokumenttien ja piirustusten vaihdossa.



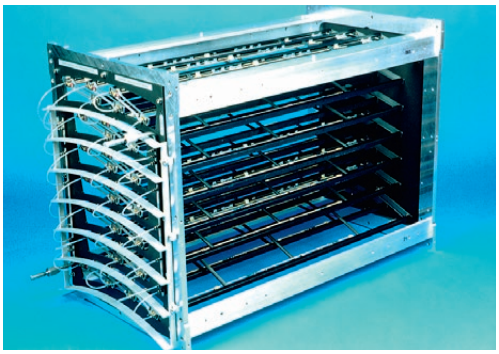
Piinauhamoduleita asennettuna "Silicon Wheel" -tukirakenteeseen v. 1998. (Kuva CERN)

Helsingin CMS-ryhmässä Veikko Karimäki työskenteli edelleen CMS:n Simulation and Software -kehitystyön koordinaattorina, Ritva Kinnunen ja Jorma Tuominiemi olivat vastuussa simulaatiotutkimuksista, joilla selvitettiin CMS-koeaseman potentiaalia löytää Higgsin bosoni. Martti Pimiä oli siirtynyt CERNin henkilökuntaan v. 1994 alusta ja hänet nimitettiin CMS:n Software-projektin johtajaksi. Pimiä jatkoi myös yhteistyötä SEFTin CMS Software and Physics -projektin kanssa. HIPin ryhmässä työskentelivät myös tohtoriopiskelijoina DI Jukka Klem, DI Henri Saarikoski ja FM Aatos Heikkinen. Jukka Klem väitteli 24.8. 1998 TKK:lla aiheesta "Proton Extraction from a High Energy Beam with Crystals". Vastaväittäjänä toimi Dr. Niels Doble CERNistä.

SEFTin beam-teleskooppia, joka oli rakennettu RD5-koetta varten, muunnettiin v. 1995 lähtien niin, että se soveltui paremmin CMS:n ratailmaisimia varten kehitettävien ilmaisimien testaamiseen. SEFTin ryhmä (dos. Esko Pietarinen, DI Carl Eklund) rakensi teleskoopille viimeisimpään VME-teknologiaan perustuvan datankeruujärjestelmän. Teleskooppia käytettiin jo v. 1995 kesällä ilmaisintesteihin CERNin H2- ja X7-suihkuilla Pohjoishallissa. Vuonna 1998 teleskooppi rakennettiin HIPin projektina kokonaan uudelleen, siihen vaihdettiin uudet VTT:llä valmistetut, suuremman pinta-alan pii-ilmaisimet sekä kehitettiin edelleen datankeruujärjestelmää. Tässä vaiheessa SiBT-projektissa työskentelivät Esko Pietarinen, DI Carl Eklund, FT Antti

Honkanen, DI Henri Saarikoski, DI Kari Skog sekä FL:n opiskelijat Teppo Mäenpää ja Sami Lehti. Vuonna 1999 teleskooppia käytettiin mittaamaan suihkuhiukkasten radat testattaessa CMS:n drift tube -myoni-ilmaisimia sekä uusia MSGC/GEM -ilmaisimia H2-suihkulla.

Vuoden 1997 syyskuussa HIP sai Teknologiaohjelmalle uudet tilat Otaniemestä Tekniikantieltä. Tiloihin sijoitettiin myös CMS-projektin elektroniikkatoiminta. TKK vastasi tilojen vuokrista.



TOB:n osaprototyyppi B1 v. 1997. Kuvassa näkyvät ilmaisinmodulien kiinnityskiskojen prototyypit, jotka on kiinnitetty B1-kehikkoon. (Kuva CERN)

Vuosina 1996–1998 Oulun yliopiston Microelectronics Instrumentation Laboratory (MIL) Kemissä osallistui CMS:n keskusratailmaisimen kehitystyöhön. FT Tuure Tuuva oli siirtynyt tutkimusprofessoriksi MIL-laboratorioon ja jatkoi siellä piinauhailmaisimien kehitystyötä tutkimussopimuksin HIPin kanssa. Yhteistyössä HIPin sekä Pisan, Aachenin, Zürichin ja CERNin CMS-ryhmien kanssa MIL osallistui Pisan yliopiston rakentaman hiilikuituprototyypin ”Silicon Wheel” varustamiseen piinauhailmaisimilla suihkutestejä varten. Kemistä toimitetun ilmaisinmodulin piinauhailmaisimet suunniteltiin MIL:ssa, maskit tilattiin Terapixel Oyj:sta ja ilmaisimet prosessoitiin VTT:llä. Ilmaisinmodulikisko rakennettiin SELMIC Oy:ssä Kemissä. Tukirakenteet saatiin Aachenin ryhmältä ja teknilliset dokumentit Pisan ryhmältä. Ilmaisinmoduli asennettiin tukirakenteeseen syksyllä 1997 Pisan yliopistossa. Tämä oli ensimmäinen prototyyppi tynnyriosan sisimmälle osalle, jossa Technical Proposal -dokumentissa oli suunniteltu varustettavaksi pii-nauhailmaisimilla.

TKK:n Hiukkasteknologian instituutissa aloitettua keskusratailmaisimen ulomman osan (Tracker Outer Barrel, TOB) suunnittelua jatkettiin vuodesta 1996 HIPin projektina. Projektia johti TkT Miikka Kotamäki, ja ryhmään kuuluivat DI Tommi Nyman, DI Niko Eiden, DI Sami Ruotsalainen ja tekn.yo. Kari Tammi. Vuonna 1997 rakennettiin ensimmäinen TOB:n osaprototyyppi (B1), johon asennettiin ilmaisinmoduleita testimittauksia varten. Prototyyppi perustui uusiin menetelmiin hiilikuiturakenteiden tuottamisessa, tarvittua osaamista löytyi mm. Exel Oy:stä.

CMS:n Management Board ja Finance Board Helsingissä

CMS:n Management Board ja Finance Board pitivät 1990-luvun lopulla kokouksiaan myös CERNin ulkopuolella CMS:n osanottajainstituuteissa. Vuoden 1997 toukokuussa (12.–13.5.) kokoukset järjestettiin Helsingissä, yliopiston tiloissa. CMS:n johto tapasi HIPin johtokunnan jäseniä sekä Helsingin yliopiston ja TKK:n rehtorit Kari Raivion ja Paavo Urosen. Jorma Tuominiemi nimitettiin heinäkuussa 1997 CMS:n Management Boardin jäseneksi kaudeksi 1997–1999 CMS:n pienten jäsenmaiden edustajana. Pesti uusittiin vv. 2005–2007.

Suomen Akatemian ja TEKESin johtoa CERNissä tutustumassa Big Wheel -prototyyppiin tammikuussa 2000. Vasemmalta SA:n tutkimusjohtaja Jorma Hattula, CMS:n puhemies Michel Della Negra, professori Markku Mattila, Veikko Karimäki (HIP), TEKESin johtaja Veli-Pekka Saarnivaara, Suomen Akatemian johtaja Raimo Vihko, FM Markus Nordberg (CERN), Ritva Kinnunen (HIP), DI Jukka Kokkonen (CERN), Kari Tammi (HIP) ja Kati Lassila-Perini (HIP). Oikeassa reunassa teknologianeuvos Reijo Munther (TEKES) ja Suomen Akatemian yleissihteeri Eeva Ikonen. Esittelijänä Jorma Tuominiemi. (Kuva CERN)

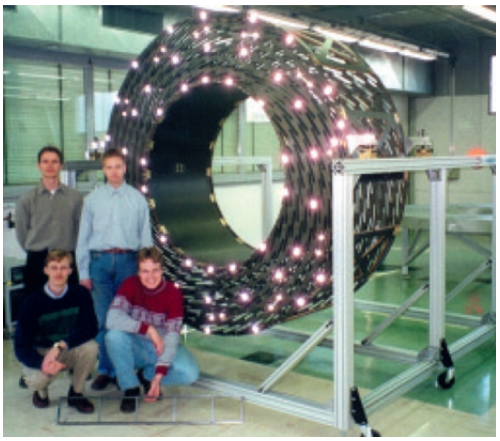
Myös ensimmäiset versiot kiinnityskiskoista, joihin ratailmaisimen ilmaisinmodulit kiinnitettiin, valmistuivat. HIPin ryhmä osallistui myös keskusratailmaisimen linjausjärjestelmän kehittämiseen.

CMS:n keskusratailmaisimen Technical Design Report valmistui huhtikuussa 1998 (CERN/LHCC 98-6, CMS TDR 5). Helsingin CMS-projekti kontribuoi siihen usealta osin. Sen pohjamateriaalina olivat TOB:n tukirakennetta koskevat tutkimukset (B1-prototyyppi), tutkimukset törmäyksissä syntyvän säteilyn vaikutuksesta ratailmaisimen toimintaan (M. Huhtinen) sekä hiukkasjälkien rekonstruointia koskevat simulointitutkimukset (V. Karimäki). Mika Huhtinen ja Veikko Karimäki kuuluivat myös raportin toimituskuntaan.

Vuonna 1999 valmistui TOB:n täysimittainen osaprototyyppi ”Big Wheel”. Se oli toteutettu yhteistyössä CERNin ja suomalaisen teollisuuden kanssa ja sen rahoitus tuli HIPiltä, CERNistä ja Tekesistä. Prototyypin lujuustestit saatiin valmiiksi vuoden 2000 aikana. Ne osoittivat, että TOB tukirakenne voitiin koota ja linjata ratailmaisimelle vaaditulla tarkkuudella. Marraskuussa 2000 Big Wheel läpäisi CMS:n Engineering Design Review -evaluaation, minkä jälkeen voitiin ryhtyä tarjouspyyntöprosessiin. Big Wheel -projektiin osallistuivat tässä vaiheessa Kotamäen johdolla DI Niko Eiden, DI Harri Katajisto, DI Kari Tammi ja DI Tommi Vanhala.

Vuonna 1998 aloitettiin yhdessä Varsovan yliopiston CMS-ryhmän kanssa TRIDAS-projekti CMS:n Resistive Plate Chamber (RPC) -ilmaisimien optisten linkkien suunnittelussa ja rakentamisessa. HIPin TRIDAS-projekti oli vastuussa optisen tiedonsiirtojärjestelmän ja linkkikortin suunnittelusta. Projektia johti Esko Pietarinen ja siinä työskentelivät tohtoriopiskelijat FM Kukka Banzuzi ja Barin yliopistosta HIPiin siirtynyt M.Sc. Donatella Ungaro. HIPissä rakennettuja linkkikortteja testattiin keväällä v. 2000 CERNin H2-suihkussa. Suihkun aikarakenne asetettiin vastaamaan LHC:n protonisuihkujen suunniteltua aikarakennetta. Testien tulosten perusteella voitiin tehdä lopulliset linkkikorttien suunnitelmat. CMS Trigger and Data Acquisition projektin Level-1 Trigger Technical Design Report julkaistiin joulukuussa v. 2000 (CERN/LHC 2000-038, CMS TDT 6.1). Pietarinen ja Banzuzi olivat RPC-osan tekstin toimittajina yhdessä Varsovan yliopiston ryhmän kanssa.

Miikka Kotamäen siirryttyä CERNin henkilökuntaan v. 1999, HIPin Tracker-projektille oli etsittävä uusi projektipäällikkö. Vihdoin kesällä v. 2000 TKK:lta löytyi pätevä henkilö tehtävään. TkL Eija Tuominen toimi TKK:n Sähkötekniikan osaston elektronifysiikan laboratorioinsinöörinä ja oli kiinnostunut uudesta tehtävästä. Hänen erikoistumisalansa oli puolijohdeilmaisimien kehittäminen, joten hänellä oli pätevyys tehtävään. Tuominen nimitettiin HIPin Tracker-projektin päälliköksi ajalle 1.9.2000–31.12.2001. Hänen sijoituspaikkansa oli aluksi CERN.



Big Wheel TOB prototyyppi. CERNissä v. 1999. Kuvassa vasemmalta: takana TkT Miikka Kotamäki ja DI Tommi Vanhala, edessä DI Antti Onnela ja DI Kari Tammi. (Kuva CERN)

Big Wheel -prototyypin rakentamiseen osallistui useita suomalaisia yrityksiä. Tässä posterissa niistä on listattu tärkeimmät.

Uutena projektina aloitettiin v. 1999 pii-ilmaisimien säteilyvaurioiden tutkimus. Ilmaisimia säteilytettiin Fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratorion neutronisuihkussa ja testattiin säteilytyksen jälkeen HIPin SiBT-teleskoopilla CERNin H2-suihkulla. Myös RPC:n optisen linkin kortteja säteilytettiin Jyväskylässä niiden säteilynkestävyyden varmistamiseksi.

8. NA52-koe CERNin SPS-kiihdyttimellä 1992–1999

Kun UA-kokeet olivat 1988–90 loppuvaiheessaan ja LHC-suunnitelmat vielä ilman virallisia päätöksiä, moni UA-kokeissa mukana ollut fyysikko päätyi tutkimaan mahdollisuuksia tehdä jotain pienimuotoisempaa tutkimusta SPS-kiihdyttimellä LHC-suunnittelun ohella. Niinpä minäkin, kävin erilaisissa palavereissa CERNissä tutustumassa esillä oleviin ehdotuksiin. Kävin muun muassa keskusteluja pitkäaikaisen kollegani professori Mike Albrow'n (tuolloin Tukholman yliopistossa) kanssa raskaiden neutraalien hiukkasten etsimisestä kiinteän kohtion kokeissa käyttämällä kehitteillä olevia uuden tyyppisiä kalorimetri-ilmaisimia. Osallistuin Sigtunassa Ruotsissa v. 1989 syksyllä konferenssiin "Very High Resolution Electromagnetic Calorimetry". Konferenssin järjesti Ruotsin Tiedeakatemian fysiikan Nobel-komitea Albrow'n aloitteesta. Kokoukseen osallistui myös professori Klaus Pretzl, CERNissä tehdyissä kiinteän kohtion kokeissa ansioitunut tutkija Bernin yliopistosta.

Useat teoreetikot olivat 80-luvun aikana esittäneet olettamuksia outoja kvarkkeja sisältävän stabiilin aineen mahdollisesta olemassaolosta. Olettamalla, että useamman kuin kolmen kvarkin tilat olisivat mahdollisia, outojen kvarkkien mukaantulo hiukkastilan muodostamiseen – uuden vapausasteen avautuminen – pudottaisi hiukkastilan Fermin energiaa niin, että voisi muodostua stabiili tai ainakin pseudostabiili tila. Kun 1980-luvun lopulla alettiin valmistella CERNin SPS:lla raskaitten ytimien kiihdyttämistä, nämä spekulaatiot saivat uutta tuulta purjeisiin. QCD:n ennusteiden mukaisesti raskaitten ytimien törmäyksissä odotettiin syntyvän kvarkkien ja gluonien muodostamaa baryoni-rikasta plasmaa (u- ja d-kvarkkeja). Plasmassa outojen merikvarkkien suhteellinen määrä voisi kasvaa, kun kaonien (K^0, K^+) säteilyssä plasman jäähtyessä antioudot kvarkit suodattuisivat pois. Näin todennäköisyys outojen stabiilien hiukkasten synnylle voisi kasvaa. Näille spekulatiivisille hiukkasille annettiin nimeksi strangelet (suomennosta outokainen on ehdotettu). Niiden varaus-atomilukusuhde olisi $Z/A = (1\text{-}f_s)/2$, olettamalla että u- ja d -kvarkkeja on tilassa sama määrä. Parametri f_s on outojen kvarkkien määrä atomilukua kohti. Se voi saada arvoja $f_s > 1$, $f_s < 1$ tai $f_s = 1$, joten strangeletit voivat olla sähkövarauksellisia tai neutraaleja. Fenomenologisten arvioiden mukaan f_s olisi lähellä yhtä ja $Z/A < 0{,}1$. Siten suuri massa/varaus -suhde tarjoaisi mahdollisuuden erottaa strangelet-hiukkaset muista hiukkasista.

Klaus Pretzl oli tarttunut tähän aiheeseen. Hän huomasi, että CERNin pohjoishallin hiukkassuihkuja voitiin suoraan hyödyntää spektrometreinä strangelet-hiukkasten etsintään. Näitä hiukkasia syntyisi SPS:lle suunnitellun lyijysuihkun törmätessä lyijykohtioon. Kokeen kustannukset olisivat varsin kohtuulliset, sillä H2, H6 ja H8 -suihkut oli rakennettu tarkoiksi spektrometreiksi. Tarvittiin vain lisää ratailmaisimia sekä erittäin tarkka Time of Flight (TOF) -tuikeilmaisinjärjestelmä sekä Tserenkovin ilmaisimia hiukkasten nopeuden mittaamiseen. CERNillä oli tarjolla sopivia rata- ja Tserenkovin -il-

maisimia, joten uudet hankinnat rajoittuisivat TOF-systeemin rakentamiseen. Kun suihkun perään vielä sijoitettaisiin massamittausta täydentämään hadronikalorimetri, rakennuskustannukset nousivat noin 500 000 Sveitsin frangiin. Pretzl ryhtyi kokoamaan kollaboraatiota koe-ehdotusta varten v. 1991 aikana. Bernin yliopiston lisäksi ranskalainen LAPP-laboratorio Annecy'ssa sekä Tukholman yliopiston Fysiikan laitos olivat kiinnostuneita. Helsingissä SEFLillä oli pieni materiaalibudjetti kokeellista tutkimusta varten, joten liityimme mukaan projektiin. Tarkoituksenani oli etsiä tutkimusryhmään tohtoriopiskelija Helsingistä. Pretzlin kokoama pieni kollaboraatio jätti CERNille koe-ehdotuksen tammikuussa 1992. Mukaan tuli myös eksperttejä CERNin hiukkassuihkuja rakentavasta ja ylläpitävästä ryhmästä. Kollaboraation nimeksi otettiin "NEWMASS Collaboration".

Samanlainen koe oli jo aloitettu Yhdysvalloissa Brookhavenin AGS-kiihdyttimellä ja sille oli hyväksytty suihkuaikaa jatkossakin. AGS-kiihdyttimellä voitiin saada aikaan kultaydinsuihku, jonka energia oli 11,7 GeV/ydin, joten SPS-kokeissa oltiin merkittävästi korkeammalla törmäysenergia-alueella. SPS:n energia-alueella raskasionitörmäyksissä baryoneja syntyi vielä keskeisissä törmäyksissä pienillä rapiditeeteilla. Tuolloin suunnitteilla olleella LHC-törmäyttimellä keskeisen rapiditeetin alueella arvioitiin syntyvän vain vähän baryoneja, joten strangelet-hiukkasten tuotto olisi vähäistä. SPS-kokeet olisivat siis sopiva ikkuna strangelet-hiukkasten etsimiseen.

Koe-ehdotus hyväksyttiin CERNissä heti v. 1992 alussa ja sai koodinimen North Area 52 (NA52). Newmass-kollaboraatio asensi ensimmäisen version koelaitteistosta CERNin H6-suihkulinjalle Pohjoishallissa v. 1992 syksyllä. SPS:lla voitiin tuolloin kiihdyttää rikki-ioneja suihkuenergialla 200 GeV/c per nukleoni. Kohtiona käytettiin wolframia. Tässä testikokeessa voitiin mitata törmäystaajuutta ja strangelet-mittausten taustaa. Taustan suuruus riippui lähinnä TOF-mittausten tarkkuudesta. Tehdyt testimittaukset olivat hyödyllisiä lopullisen laitteiston suunnittelussa ja rakentamisessa. SEFL osallistui laitteiston uusien ratailmaisimien hankintakustannuksiin 40 000 markalla. Lopullinen NA52-laitteisto oli valmiina syksyllä 1993 H6-suihkulinjalla. Laitteiston testaamista varten saatiin ensin rikki-ioni -suihkuaikaa syys–lokakuussa 1993. Kokeisiin lyijysuihkulla oli CERNin suunnitelmissa varattu aikaa syksyksi 1994, jolloin koe varsinaisesti alkoi.

Tomas Lindén tuli väitöskirjaopiskelijaksi NA52-kokeeseen v. 1994. Hän oli Opetusministeriön tutkijakoulun (GRASPANP) tutkijana 1995–1997 ja Suomen Akatemian tutkijana 1998–1999. Lindénin tehtäväksi NA52:ssa määriteltiin kerättävän datan analyysi CERNissä ja SEFLillä.

Ensimmäiset varsinaiset ajot tehtiin vuosien 1994 ja 1995 syksyllä. Nyt SPS-kiihdyttimellä kiihdytettiin lyijyioneja, joiden energia oli 159A GeV/c. Kohtiona käytettiin lyijyä. Koe-ehdotuksessa esitetty törmäysten määrä saatiin kerätyksi. Datan analyysissä strangelet-hiukkasia ei vieläkään löydetty. Niiden invariantille differentiaaliselle vaikutusalalle mitattiin ylärajaksi

Etualalla vasemmalta NA52-kokeen johtaja, professori Klaus Pretzl (Bern) ja professori Alain Bussière (LAPP). (Kuva Tomas Lindén)

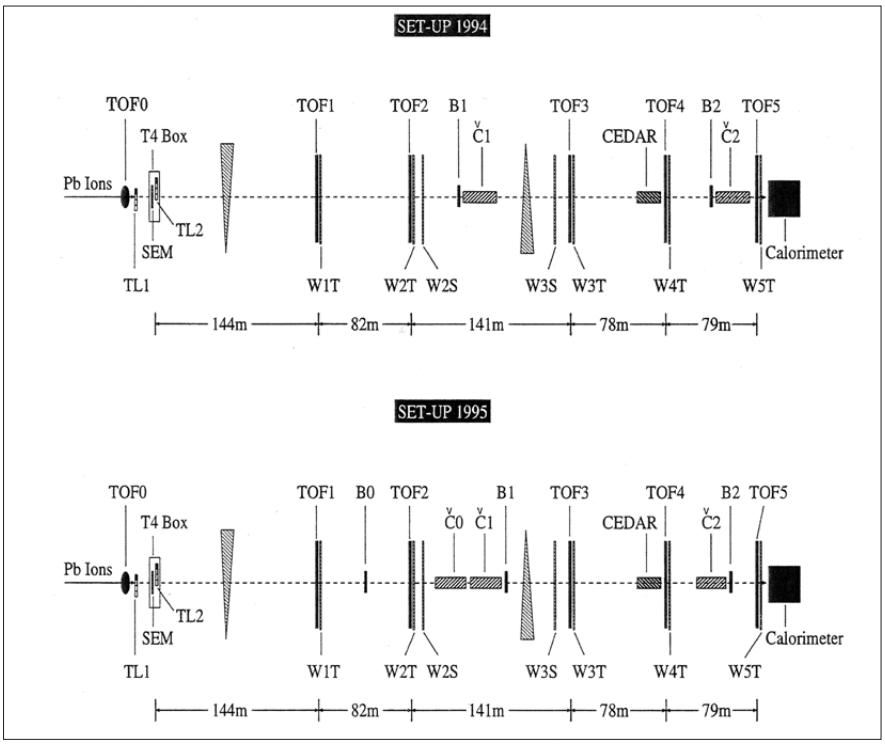
50 nbGeV^{-2}c^{3}. Spektrometrin pituus rajoitti tutkimuksen koskemaan hiukkasia, joiden elinaika oli pitempi kuin 1,2 µs. Tulos julkaistiin 1996.

Kun NA52-laitteiston suorituskyky oli hyvin hallinnassa, aloitettiin myös tunnettujen hadronien tuottoreaktioiden tutkimus Pb-Pb -törmäyksissä. Näin Newmass-kollaboraatio laajensi NA52-koetta SPS-raskasionifysiikan tutkimukseen. Laitteistoa parannettiin lisäämällä siihen lankakammioita liikemäärämittauksen tarkentamiseksi. Uuden laitteiston testiajot tehtiin v. 1996 syksyllä ja uudet ajot v. 1998. Näistä mittauksista saatiin runsaasti tutkimustuloksia. Laitteiston tarkkuuden parantamiseen liittyi myös suihkulinjan magneettien tarkka linjaus. Tästä valmistui Tomas Lindénin väitöskirja ” Strangelet search and particle production studies in Pb-Pb collisions at 158xA GeV/c with the H6 beam line spectrometer at CERN” (HU-P-D66). Väitöstilaisuus pidettiin Helsingin yliopistossa 25.11.2000, vastaväittäjänä toimi Dr. Per Grafström CERNistä.

Vuoden 1998 ajoissa rekisteröitiin n. 6 x 10^{12} Pb-Pb -törmäystä. Edelleenkään ei strangelet-hiukkasia löytynyt. NA52-kokeen mittaamiksi strangelet-hiukkasten tuottotodennäköisyyden ylärajoiksi (90 % CL) saatiin 3x10^{-11} per Pb-Pb -törmäys positiivisen sähkövarauksen ja 2x10^{-10} negatiivisen sähkövarauksen strangeleteille. Rajat sulkivat pois joukon esitettyjä teoreettisia malleja. Tunnettujen hiukkasten tuotosta saatiin runsaasti tuloksia. Lyijy-ionien fragmentteja mitattiin hiiliatomeihin saakka. Antihiukkasfragmenteista saatiin mittauksia aina antihelium-3 ytimien tuottoon asti.

NA52 laitteistoa käytettiin myös mittaamaan kaonien ja pionien tuottoa protoni-beryllium-törmäyksissä. Nämä mittaukset olivat tärkeitä CERNin kiihdyttimillä tuotettujen neutriinosuihkujen vuon ja spektrin arvioimiseksi. Mittauksia varten perustettiin uusi koe nimeltään NA56 /SPY, jonka puhemies oli Dr. Stefano Ragazzi. Helsingin NA52-ryhmän Tuominiemi ja Lindén olivat myös mukana NA56 kokeessa. Mittaukset tehtiin vuonna 1996 ja tärkeimmät tulokset julkaistiin kolmessa 1998-99 julkaistussa artikkelissa.

NA52-tutkimusryhmää H6-suihkulla. Vasemmalta: J.Tuominiemi, professori Kurt Borer (Bern), Tomas Lindén, MSc Giovanna Ambrosini (Bern), MSc Hanspeter Beck (Bern).



NA52-spektrometrin (1994 ja 1995) kaaviokuva. Lyhennykset TL1, TL2 ja T4 tarkoittavat kohtioita, Bx ja TOFx time-of-flight-asemia, Wxy monilankakammioita (ratailmaisimia), Cx Tserenkov-ilmaisimia. Kartiot kuvaavat spektrometrin taivutusmagneetteja.

9. Fysiikan tutkimuslaitos (HIP) 1996–1999

9.1. Tutkimuslaitoksen toiminnan alku

Professori Eero Byckling, HIPin ensimmäinen johtaja 1996–2000.

Fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunta kokoontui ensimmäisen kerran 9.9.1996. Kokouksessa hyväksyttiin väliaikaisen johtokunnan esittämä työjärjestys ja vahvistettiin tutkimuslaitoksen tutkimusohjelmiksi Teoriaohjelma, Hiukkasfysiikan ohjelma, LHC-ohjelma ja Teknologiaohjelma. Hiukkasfysiikan ohjelman pääprojektina oli DELPHI-koe LEP-törmäyttimellä, LHC-ohjelman CMS-koe. Helsingin yliopiston rehtori perusti tutkimuslaitoksen johtajan ja hallintopäällikön virat. Professori Eero Byckling nimitettiin tutkimuslaitoksen johtajaksi ja dos. Erkki Pajanne hallintopäälliköksi, molemmat kolmivuotiskaudeksi 1.9.1996–31.8.1999.

Perustettujen tutkimusohjelmien johtajat kiinnitettiin seuraavasti. Akatemiaprofessori Stig Stenholm nimitettiin Teoriaohjelman johtajaksi, dos. Risto Orava Hiukkasfysiikan ohjelman johtajaksi ja TkT Ari-Pekka Hameri Teknologiaohjelman johtajaksi. Määräykset olivat viisivuotisia. Nämä nimitykset päätettiin tehdä ilman hakuprosessia, tutkimuslaitosta koskevaa asetusta soveltaen.

LHC-ohjelman ohjelmanjohtajan vakanssi päätettiin julistaa kansainväliseen hakuun. CERNin tutkimusjohtaja, Lorenzo Foá tarjosi hakuprosessin käyttöön CERNin informaatiokanavia, millä katsottiin voitavan saavuttaa laaja potentiaalinen hakijajoukko. Hakuajan päättyessä vuoden lopussa oli tullut yhdeksän hakemusta. Valmisteluryhmä valitsi kolme hakijaa haastateltaviksi, professori Gerald Eigenin Bergenin yliopistosta, PhD Michael Dittmarin ETHZ:stä ja dos. Jorma Tuominiemen Helsingin yliopistosta. Valinnassa kuultiin ulkopuolisina asiantuntijoina professoreja Lorenzo Foá (CERN), Michel Della Negra (CERN) ja Dan Green (Fermilab). Valmisteluryhmä katsoi, että Gerald Eigen ja Jorma Tuominiemi täyttivät parhaiten LHC-ohjelmanjohtajalle asetettavat tieteelliset ja käytännön johtamiseen tarvittavat vaatimukset. Ensimmäiselle sijalle asetettiin Eigen, jonka katsottiin tuovan LHC-ohjelmaan uutta näkemystä ja uusia kansainvälisiä yhteyksiä. Eigenin kanssa käydyissä neuvotteluissa kävi kuitenkin ilmi, että tutkimuslaitos ei voinut täyttää hänen esittämiään ehtoja: vaatimusta vakinaisesta virasta ja nimitystä Helsingin yliopiston professoriksi. Nämä vaatimukset olivat sinänsä ymmärrettäviä, sillä Eigen olisi joutunut luopumaan ainakin väliaikaisesti professorin virastaan Bergenissä. Tämän jälkeen valmisteluryhmän esitti dos. Tuominiemen kiinnitettäväksi LHC-ohjelman johtajaksi. Kiinnitys oli kolmivuotinen alkaen 1.8.1997. Nimitetyt ohjelmanjohtajat muodostivat valmisteluryhmän, jonka tehtävänä oli johtosäännön mukaan avustaa laitoksen johtajaa toiminnan suunnittelussa.

Teknillisen korkeakoulun hallitus oli päättänyt lakkauttaa HTI:n toiminnan 31.12.1996 lähtien ja siirtää sen omaisuuden perustetun fysiikan tutkimuslaitoksen hallintaan. Helsingin yliopiston konsistori lakkautti SEFT:n ja TFT:n 1.2.1997 lukien ja siirsi niiden omaisuuden ja tilat uudelle laitokselle.

HIPin johtokunnan kokouksessa 1.10.1996 hyväksyttiin ATLAS- ja CMS -kollaboraatioiden kanssa tehtävät ”Interim Memorandum of Understanding for the Execution of the Initial Phase of the ATLAS/CMS Experiment” -sopimukset. Tutkimuslaitos sitoutui maksamaan ATLAS-kokeeseen vuosina 1997–1998 yhteensä 50 000 CHF ja CMS-kokeeseen vuonna 1997 100 000 CHF. Edelleen tutkimuslaitos sitoutui 1997–2005 osallistumaan CMS-kokeen rakennuskustannuksiin kaikkiaan 5 MCHF:lla. Päätöksessä edellytettiin, että tutkimuslaitos saa vuosina 1997-2005 opetusministeriöltä tarvittavan lisärahoituksen, noin 2 Mmk/vuosi. Vuoden 1997 tutkimussuunnitelmaan kirjattiin 22 Mmk:n budjettiesitys. Siitä kokeelliselle hiukkasfysiikalle osoitettiin seuraavat määrärahat: Hiukkasfysiikan ohjelma 5,35 Mmk, LHC-ohjelma 3,95 Mmk.

Vuoden 1997 alussa professori Juha Äystö teki aloitteen tutkimuslaitoksen toiminnan laajentamisesta Jyväskylän yliopistoon. Äystö ja HIPin johtaja, professori Eero Byckling olivat neuvotelleet OPM:n kanssa siitä, että HIPille perustettaisiin toimipiste Jyväskylän yliopistoon. Jyväskylän yliopistolla oli ollut jo 90-luvun alusta alkaen tutkimustoimintaa CERNissä ISOLDE-laitteistolla. HIPin valmisteluryhmä ehdotti, että laitokselle perustettaisiin viides tutkimusohjelma nimeltään ”ydinfysiikan tutkimusohjelma”, jonka toiminta liittyisi CERNin ISOLDE-kokeisiin ja ALICE-kokeeseen CERNin LHC-törmäyttimellä sekä raskasionitörmäysten teoreettiseen fysiikkaan. Suunnitteilla oli, että OPM myöntäisi toiminnalle määrärahan ja Jyväskylän yliopisto osoittaisi sille vastaavan suuruisen lisätuen. Hankkeen rahoituspäätökset kuitenkin lykkääntyivät ja yhteistyö päätettiin aloittaa ensin suppeammassa muodossa. LHC-ohjelmaan perustettiin 1.1.1998 alkavaksi Nuclear Matter Physics -projekti, johon HIP varasi v. 1998 budjetistaan 0,5 Mmk:n määrärahan lähinnä ALICE-projektin maksuihin ja projektin tutkijoiden matkakuluihin. Projektin päälliköksi johtokunta nimitti professori Vesa Ruuskasen Jyväskylän yliopistosta.

9.2. HIPin ensimmäisen tieteellisen neuvottelukunnan ja RECFAn vierailut Helsingissä 1997

HIPin Tieteellinen neuvottelukunta (Scientific Advisory Board) saatiin muodostettua kevään 1997 aikana. Seuraavassa siitä käytetään lyhennettä SAB. Jäseniksi kutsuttiin:

Jack Steinberger (kokeellinen fyysikko, CERN, nobelisti)
John Iliopoulos (hiukkasteoreetikko, professori,
Ecole Normale Superiore, Pariisi)
Norbert Kroo (ydinfyysikko, teoreetikko,
Unkarin tiedeakatemian johtaja, Budapest)
Horst Wenninger (tutkimusjohtaja, CERN)
Björn Wiik (johtaja, DESY)
Krister Ahlström (vuorineuvos, A. Ahlström Oyj).

SAB vieraili Helsingissä 4.9.1997. Se tapasi laitoksen johtoa sekä johtokunnan jäseniä. Järjestetyssä seminaarissa HIPin tutkimusohjelmien johtajat esittelivät neuvottelukunnalle ohjelmien toimintaa sekä suunnitelmat tutkimustyölle v. 1998. Esittelyjen pohjalta SAB esitti joukon suosituksia laitoksen toiminnalle. Ensimmäisenä tärkeänä asiana se otti esille kokeellisen hiukkasfysiikan professuurin puuttumisen Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksessa. Tätä puutetta oli myös ECFA:n johtoryhmä (RECFA) arvostellut Opetusministeriölle jättämissään suosituksissa jo ensimmäisellä maavierailullaan Suomeen v. 1991. SAB painotti professuurin tärkeyttä hiukkasfysiikan jatko-opiskelijoiden koulutukselle ja CERNissä tehtävän tutkimuksen tieteellisten tulosten hyödyntämiselle Helsingin yliopistossa. Toisena tärkeänä asiana SAB korosti riittävien laboratorioresurssien ja tieteellisen infrastruktuurin tärkeyttä CERN-yhteistyön hyödyntämiseksi. Neuvottelukunnan mielestä LHC:lla tehtävä tutkimus tekisi mahdolliseksi nostaa HIPin näkyvyyttä kansallisena laitoksena ja voisi avata tietä uusien yliopistojen liittymiselle sen tutkimusohjelmaan. Tässä mielessä SAB piti hyvänä ehdotusta Jyväskylän toimipisteen ja uuden Ydinaineen tutkimusohjelman perustamista ALICE-kokeeseen liittymistä varten. LHC-törmäyttimen rakentamisen aikana oli neuvottelukunnan mielestä tärkeää osallistua resurssien mukaan myös pienempiin kokeisiin ja esimerkiksi kansainvälisesti käynnissä olevaan suuren elektroni-positroni-törmäyttimen suunnitteluun. Tässä ilmeisesti näkyi neuvottelukunnan jäsenen professori Björn Wiikin kynänjälki. Wiik oli DESY-laboratorion johdossa ja siellä oli jo olemassa pienimuotoista suomalaista tutkimusyhteistyötä elektroni-positroni-fysiikassa. Wiik lähestyi minua useaan otteeseen vv. 1997–98 tämän teeman merkeissä ja esitti, että olisi hyödyllistä, jos LHC-ohjelma varaisi 10 % luokkaa olevan määrärahan budjetistaan DESY-laboratoriossa tehtävään toimintaan. Teknologiaohjelmassa SAB piti edelleen

merkittävinä tutkimuslaitoksen teknologian kehittämiseen tähtääviä hankkeita, kuten TUOVI- suunnitteluohjelmistoa, jolle oli löytynyt kiinnostusta mm. CERNissä ja DESY-laboratorissa, niiden projektisuunnittelussa.

Heti neuvottelukunnan vierailun jälkeen 5.–6.9. 1997 teki RECFA toisen maavierailunsa Suomeen. ECFAn puheenjohtajana toimi tuolloin professori Enrique Fernández Barcelonan Hiukkasfysiikan instituutista. Suomen edustajana RECFAssa toimi dos. Paula Eerola. Opetusministeriölle ja Suomen Akatemialle osoitetussa kirjelmässään RECFA päätyi hyvin samanlaisiin suosituksiin kuin Fysiikan tutkimuslaitoksen SAB. Sekin kiinnitti erityistä huomiota siihen, että Suomessa ei edelleenkään ollut yhtään professuuria kokeellisessa hiukkasfysiikassa. Toinen RECFAn painottama seikka oli detektoritutkimuksen vahvistamisen tärkeys LHC-ohjelmassa. RECFAn ja SABin suositusten yhteneväisyys ei ollut yllätys, molemmat raportit olivat alan tutkimuksen hyvin tuntevien asiantuntijoiden laatimia.

CMS-projektin toiminnan laajentuessa tuli ajankohtaiseksi jakaa se kahteen osaan. CMS:n analysointiohjelmistojen kehitys ja fysiikan simulointitutkimus erotettiin 1.11.1997 omaksi projektikseen ”Software and physics”. Sen projektipäälliköksi johtokunta nimitti dos. Veikko Karimäen, joka oli aktiivisesti osallistunut CMS-kokeen tietokonesimulointiin ja analysointiohjelmiston kehittelyyn 1990-luvun alusta asti. Projektissa työskentelivät dos. Ritva Kinnunen, TkT Jukka Klem, FM Aatos Heikkinen, DI Henri Saarikoski ja yo. Matti Haapakorpi. Klem toimi Suomen Akatemian tutkijatohtorina 1998–1999.

Laajentunut kontribuutio CMS:n keskusratailmaisimen suunnitteluun ja rakentamiseen teki tarpeelliseksi perustaa sille oma projekti ”CMS Tracker”. Sen johtajaksi nimitettiin TkT Miikka Kotamäki, joka oli ollut v. 1996 vastuussa CMS-trackerin tukirakenteen suunnitteluprojektista HTI:ssa. Projektissa työskentelivät FT Esko Pietarinen, DI Carl Eklund, FT Antti Honkanen (väitellyt Jyväskylän yliopistossa, sijoituspaikka CERN), DI Kari Skog (sijoituspaikka CERN), DI Niko Eiden (sijoituspaikka CERN), DI Sami Ruotsalainen (sijoituspaikka CERN), yo. Kari Tammi (sijoituspaikka CERN) ja yo. Kukka Banzuzi. Projektit perustettiin alkavaksi 1.11.1997. Eiden, Eklund, Skog ja Ruotsalainen siirtyivät v. 1998 lopussa Big Wheel prototyypin valmistuttua teollisuuden palvelukseen ja Kari Tammi VTT:lle v. 2001. Vuonna 1999 CMS Tracker -projektiin liittyi DI Tommi Vanhala jatkamaan keskusratailmaisimen kehitystyötä. Hän siirtyi teollisuuteen v. 2002. Antti Honkanen toimi Suomen Akatemian tohtoritutkijana 1998–2000. Hän siirtyi Marconi Finland Oy:n palvelukseen v. 2001 alusta.

Vuoden 1997 viimeisessä kokouksessaan tutkimuslaitoksen johtokunta vahvisti v. 1998 budjettiesityksen, jonka loppusumma oli 22 Mmk. Siitä Hiukkasfysiikan ohjelman osuus oli 3,65 Mmk ja LHC-ohjelman 4,85 Mmk.

SABin ja RECFAn huoli kokeellisen hiukkasfysiikan professuurin puuttumisesta Helsingin yliopistossa sai vastakaikua HIPin johtokunnassa ja Fysiikan laitoksella. Fysiikan laitoksen johtoryhmä teki 13.1.1998 päätök-

sen esittää matemaattis-luonnontieteelliselle tiedekunnalle, että perustettaisiin yhdessä Fysiikan tutkimuslaitoksen kanssa kokeellisen hiukkasfysiikan professuuri. Fysiikan laitos esitti lausunnossaan, että ”HIPille asetettujen velvoitteiden toteuttamiseksi, kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimuksen ja opetuksen voimistamiseksi Fysiikan laitoksessa sekä Fysiikan tutkimuslaitoksen ja Fysiikan laitoksen yhteistyön edelleen kehittämiseksi olisi molempien osapuolten etujen mukaista perustaa yhteisesti ylläpidetty, pysyvästi täytetty kokeellisen hiukkasfysiikan professuuri”. Asia oli esillä Fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunnan ensimmäisessä kokouksessa 1998. Johtokunta päätti hyväksyä esityksen ja sitoutui alustavasti maksamaan 45 % professorin palkkauksesta (A28).

Vuoden 1998 alkuun mennessä LHC-kollaboraatiot ja CERN olivat saaneet neuvoteltua valmiiksi asiakirjat LHC-kokeiden rakentamis- ja rahoitusvastuista (Memorandum of Understanding). Fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunta hyväksyi CMS- ja ATLAS -kokeiden sopimukset ja valtuutti laitoksen johtajan allekirjoittamaan ne. ALICE-kokeen osalta asia jäi aluksi pöydälle, koska rahoitusneuvottelut Jyväskylän yliopiston ja OPM:n kanssa olivat vielä kesken. Johtokunta oli jo aiemmin valinnut CMS-kokeen pääkohteeksi CERNin LHC-törmäyttimellä tehtävässä kokeellisessa tutkimusohjelmassa ja hyväksynyt tutkimuslaitoksen rahoitusosuudeksi 5 miljoonaa Sveitsin frangia koko rakennusajalle 1.1.1998–31.12.2005. Tämä jakautui sopimusasiakirjan mukaan neljään osaan:

Common fund (magneetin rakentaminen)	1 480 000 CHF
Tracker (Keskusratailmaisin)	2 400 000 CHF
Trigger/Data Acquisition	1 020 000 CHF
Offline Computing	100 000 CHF

ATLAS-kokeen osalta HIPin johtokunta sitoutui osallistumaan ”membership contribution” suuruisella rahasummalla, joka oli rahoitusajalle 1.1.1998–31.12.2005 100 000 CHF. Tämä sopimus antoi HIPille oikeuden hyödyntää kokeessa saatua tieteellistä materiaalia. Varsinaista tieteellistä osallistumista ATLAS-kokeeseen ei HIPissä ollut. Kun neuvottelut ALICE-ohjelman rahoituksesta HIPin ja Jyväskylän yliopiston välillä oli saatu päätökseen, johtokunta valtuutti HIPin johtajan allekirjoittamaan myös ALICE-kokeen Memorandum of Understanding”-asiakirjan. Siinä sitouduttiin seuraaviin hankkeisiin:

Keskusratakammio	500 000 CHF
Tukirakenteet ja jäähdytys	400 000 CHF
Common projects	100 000 CHF

Rahoituspäätökset olivat luonnollisesti ehdollisia, ne edellyttivät, että tutkimuslaitokselle myönnettäisiin tätä varten vastaava lisärahoitus ko. rakennusajalle.

9.3. LHC-kokeiden rahoituspäätökset Suomessa ja HIPin uusi asema v. 1998

LHC-kokeiden rahoituksen järjestäminen Suomessa eteni vuoden 1998 aikana. Johtokunnan aloitteesta HIPin johtaja professori Byckling ehdotti 19.5.1998 päivätyssä muistiossaan neuvotteluja Opetusministeriön ja Suomen Akatemian kanssa siitä, miten kokeiden rahoitus voitaisiin järjestää HIPin budjetin ulkopuolisena tutkimusmäärärahana. Pian tämän jälkeen, 17.6.1998 järjestetyssä neuvottelussa, johon osallistuivat kansliapäällikkö Arvo Jäppinen (OPM, pj.), professori Eero Byckling, tutkimusjohtaja Jorma Hattula (SA), osastopäällikkö Matti Lähdeoja (OPM), vararehtori Arto Mustajoki (HY), professori Risto Nieminen (TKK) ja professori Juha Äystö (JY), päädyttiin esittämään rahoitusmallia, jossa opetusministeriö kattaisi kolmasosan, Suomen Akatemia kolmasosan ja Fysiikan tutkimuslaitoksen jäseninä olevat Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu ja Jyväskylän yliopisto yhdessä kolmasosan tarvittavasta rakennusmäärärahasta. Koko tarvittava summa oli 6 MCHF, tuolloisella valuuttakurssilla 21,2 milj. markkaa. Sovittiin, että asian päättämiseksi järjestettäisiin syyskuussa 1998 jatkokokous. Kokoonkutsujaksi OPM määräsi korkeakouluneuvos Juhani Hakkaraisen, jonka tehtäväksi annettiin valmistella esitys päätöksen pohjaksi. Hakkarainen laati asiasta muistion 12.10.1998, jossa 17.6.1998 kokouksessa kaavaillun mallin mukainen rahoitussuunnitelma esitettiin hyväksyttäväksi. Hakkarainen ehdotti, että jos hänen laatimansa yksityiskohtainen esitys oli kaikkien osapuolien hyväksyttävissä, Helsingin yliopisto/Fysiikan tutkimuslaitos voisi pyytää osapuolilta tarvittavat kirjalliset sitoumukset. Näin tehtiin ja joulukuuhun 1998 mennessä Opetusministeriö, Suomen Akatemia, Helsingin yliopisto, Jyväskylän yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu olivat vahvistaneet sitoumuksensa sopimukseen rehtorien allekirjoittamilla kirjeillä.

Suomen Akatemia asetti HIPin käyttöön välittömästi oman osuutensa 7 milj. mk valtion vuoden 1998 lisätalousarviossa tarkoitukseen myönnetyistä veikkausvarojen lisäkertymään perustuvasta määrärahasta. Tästä SA:n osuuden etupainoisuudesta johtuen muut osapuolet päättivät aloittaa rahoituksensa myöhemmin. Opetusministeriö osoitti yliopistojen toimintamenomäärärahoista vuosina 2000–2004 vuosittain 1,4 milj.mk määräaikaisena lisärahoituksena HIPin LHC-hankkeeseen. Helsingin yliopisto, Jyväskylän yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu osoittivat kukin HIPille vuosina 1999–2004 yhteensä 2,33 milj.mk:n lisärahoituksen tasaisesti vuosittaisina erinä. Nämä päätökset olivat ratkaisevia CMS- ja ALICE-koeasemien rakentamiseen osallistumisen kannalta. Rahoitusratkaisun näin sujuva läpimeno tuntui HIPin hiukkasfysiikan tutkijoiden piirissä suorastaan ihmeelle. Mutta olihan asiaa myös pitkään valmisteltu OPM:n kanssa. Valmistelussa Eero Bycklingin osuus oli ollut tärkeä. Voidaan todeta, että tämä tiedehallinnon päätös oli mitä

merkittävin edistysaskel suomalaisen hiukkasfysiikan tutkimuksen ja CERN-yhteistyön menestyksellisen jatkumisen kannalta.

Vuoden 1998 kesäkuun kokouksessa käsiteltiin myös HIPin valtakunnallista asemaa. Kun HIPiin oli liittymässä uusi yliopisto (Jyväskylän yliopisto), katsottiin että laitoksen statusta voitaisiin muuttaa samalla joustavammaksi. Kokouksessa sovittiin, että Helsingin yliopisto, Jyväskylän yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu laativat keskenään sopimuksen Fysiikan tutkimuslaitoksesta, minkä jälkeen v. 1996 vahvistettu presidentin asetus HIPista voitaisiin kumota. HIPin tehtävää ei muutettaisi, sen tuli edelleen huolehtia Suomen tieteellisestä yhteistyöstä Euroopan ydinfysiikan tutkimusjärjestön (CERN) kanssa ja osallistua muuhun kansainväliseen tutkimusyhteistyöhön. Tämä HIPin statuksen suuri muutos saatiin hoidettua sujuvasti, yliopistojen hyväksynnät sopimukselle saatiin vuoden 1998 loppuun mennessä.

9.4. Ilmaisinlaboratoriosuunnitelmien uudelleenarviointi 1998

Syksyllä 1997 tekemissään arvioissa sekä HIPin Tieteellinen neuvottelukunta SAB että RECFA olivat painottaneet hyvin varustetun ilmaisinlaboratorion tärkeyttä kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimusta tekeville instituuteille. SAB otti asian esille uudelleen kokouksessaan syyskuussa 1998. SAB lausui nyt:

> ”This recommendation by SAB last year was motivated by the fact that the particle physics program at CERN, as well as in other accelerator laboratories requires the participation of the collaborating institutions in detector design, development and construction, as well as their participation in the software development and the analysis of the data in the search for physics results. A lively participation in detector development and construction strengthens the involvement of the university institutes and of local high-tech industries. Development of detector design should in general be coupled to existing or planned experiments.”

Asian tärkeyden vuoksi SAB suositteli ulkopuolisten asiantuntijoiden konsultointia: ”In view of SAB’s recommendation of last year we propose to the Director of HIP to seek outside expert advice to evaluate and define a good detector development for HIP.” Professori Byckling otti heti tieteellisen neuvottelukunnan vierailun jälkeen yhteyttä professori Rolf-Dieter Heueriin DESY-laboratoriossa ja pyysi tältä apua sopivan asiantuntijaryhmän muodostamiseksi. Heuer suostui ryhmän vetäjäksi ja pyysi mukaan Dr. Austin Ballin (University of Maryland) ja professori Bernhard Schmidtin (University of Heidelberg). Ball toimi tuolloin Deputy Technical koordinaattorina CMS-ko-

keessa. Ryhmä teki vierailun HIPiin joulukuun 2.–3. päivinä 1998 ja tutustui ilmaisinlaboratorion tilanteeseen ja haastatteli tutkimusohjelmien johtajia.

Heuerin ryhmä jätti suosituksensa 29.1.1999 HIPin johdolle. Johdanto-osassa ryhmä toisti jo useassa yhteydessä esitetyn kannanoton, että kokeellinen laboratorio on välttämätön ajanmukaiselle kokeellisen hiukkasfysiikan koulutukselle sekä kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimusohjelmiin osallistumiselle. Kokemus aiemmista suurista hiukkasfysiikan kokeista oli osoittanut, että tutkimusryhmät, jotka olivat osallistuneet merkittävästi ilmaisinlaitteiston suunnitteluun ja rakentamiseen olivat myös saavuttaneet parhaiten näkyvyyttä kokeiden fysiikan analyysissä. Aktiivinen kehitystyö ja rakentaminen yhteistyössä teollisuuden kanssa loi myös uutta osaamista ja R&D -kapasiteettia tutkimuslaitoksen sisällä. Tältä pohjalta asiantuntijaryhmä esitti, että HIPin tuli pitää yllä hiukkasilmaisimien suunnittelu-, kehitys- ja rakennustyön osaamista. Ryhmä viittasi tässä SEFT:n/HIPin menestykselliseen osallistumiseen DELPHI-kokeen hadronikalorimetrin sekä myöhemmin piinauha-verteksi-ilmaisimen suunnitteluun, käyttöönottoon ja edelleen kehittämiseen. DELPHI- projekti oli hyvä malli HIPin ilmaisinlaboratoriolle.

DELPHI-projekti oli toisaalta johtanut HIPin resurssit huomioon ottaen liian laajalle levinneeseen toimintaan. Ryhmän mielestä HIPin oli syytä keskittyä hyvin valikoituihin projekteihin ja se esitti, että ilmaisinlaboratorio suuntaisi toimintaansa mekaniikassa, elektroniikassa ja ohjelmistokehittelyssä enenevässä määrin CMS-kokeeseen.

Yksityiskohtia koskevassa osassa asiantuntijaryhmä painotti, että LHC- ja Hiukkasfysiikan ohjelmien oli yhdistettävä voimiaan. Ryhmä oli ilmeisesti havainnut ohjelmien johtajien väliset erimielisyydet ja korosti että heiltä täytyi löytyä kokemusta ja komplementaarisuutta CMS-aktiviteettien ohjaamiseen yhdessä.

Uuden professorin tehtävänä tuli olla HIPin osallistumisen laajentaminen CMS-kollaboraatiossa. Koska CMS:n rakennusvaihe oli juuri alkamassa, arviointiryhmä ehdotti, että odotettaessa uuden professorin nimitystä voitaisiin väliaikaisena ratkaisuna etsiä yhdessä SABin kanssa riippumaton arvovaltainen henkilö aloittamaan laajennuksen suunnittelua.

Ryhmä esitti useita ehdotuksia MSGC/GEM- ja piinauhailmaisimien kehitystyön suuntaamisessa ja suositteli yhteistyötä muitten CMS-instituuttien sekä DESY:n HERA-B-kokeen kanssa. Se esitti lisäksi, että olemassa olevaa taitotietoa HIPissä olisi pyrittävää säilyttämään pitempiaikaisten työsopimusten avulla. Valmisteluryhmän roolia HIPin päätöksenteossa korostettiin. Uuden professuurin saamista Fysiikan laitokseen ryhmä piti tärkeänä edistysaskeleena hiukkasfysiikan erikoisopetuksen järjestämisessä sekä Fysiikan laitoksen mekaniikka- ja elektroniikkapajojen kytkemisessä HIPin toimintaan. Yhteistyö tulisi hyödyttämään molempia osapuolia.

HIPin johtokunta päätti pyytää Fysiikan laitoksen esimiestä, professori Juhani Keinosta laatimaan asiantuntijaryhmän lausunnon pohjalta konkreet-

tisen esityksen, miten raportin suosituksia voitaisiin toteuttaa. Näin oltiin tavallaan palattu lähtöruutuun ilmaisinlaboratorion kehittämisessä.

Professori Keinonen kävi keskusteluja ilmaisinlaboratorion toimintaan osallistuvien fyysikoitten sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden kanssa. Hänen esityksensä tukeutui Heuerin ryhmän suosituksiin ja sisälsi yksityiskohtaisia ehdotuksia niiden toteuttamisesta. Hiukkasfysiikan ohjelmien voimien yhdistämisen Keinonen esitti ratkaistavaksi yhdistämällä Hiukkasfysiikan ohjelma, LHC-ohjelma ja oleellisia osia Teknologiaohjelmasta yhdeksi hiukkasfysiikan ohjelmaksi. Tutkimustoiminnan hän ryhmitti neljään ryhmään:

1) ilmaisinryhmä, joka käsitti MSGC/GEM-aktiviteetit, ratailmaisimen mekaniikka-aktiviteetit ja pii-ratailmaisimen kehittelyn,
2) software- ja fysiikan analyysi -ryhmä, joka huolehtisi myös ratailmaisimien ohjelmistokehityksestä, CMS software and physics -ryhmän ja DELPHIn fysiikan ryhmän,
3) elektroniikan ryhmä ja
4) geneeriset aktiviteetit (liittyen lähinnä ALICE-kokeeseen ja DESY/TESLA-suunnitelmat).

Keinonen teki myös yksityiskohtaisen ehdotuksen siitä, miten HIPin ilmaisinaktiviteeteissa työskentelevät henkilöt voitaisiin järjestää edellä mainittujen aktiviteettien sisällä.

Tärkeä osa suosituksista koski MSGC/GEM -kehitystyön laajentamisesta CMS-koetta silmällä pitäen. Keinonen suositteli yhteistyön aloittamista Aachenin CMS-ryhmän kanssa CMS:n etusuunnan ratailmaisimien rakentamisessa. Tärkeänä osana tässä oli MSGC/GEM -ilmaisimien testaaminen CERNin testisuihkuissa. Tätä varten Keinonen esitti käytettäväksi 600 000 markan määrärahaa, jonka johtokunta oli aiemmin varannut MSGC-toimintaa varten. Suomen Akatemian rahoittama pii-ilmaisinprojekti tuli liittää ilmaisinlaboratorion detektoriryhmään pitäen silmällä ALICE-kokeen ja CMS:n etusuunnan ratailmaisimen suunnittelua. Tässä yhteistyö VTT:n kanssa oli hyödyllistä, kuten Heuerin ryhmä oli korostanut. Myös yhteyksiä suurta MSGC-ilmaisinjärjestelmää rakentavaan DESY:n HERA-B-kokeeseen oli kehitettävä. Muutettaessa maaliskuussa 2001 uusiin tiloihin Kumpulan kampukselle oli hyvä tilaisuus suunnitella ilmaisinlaboratorio resursseiltaan ajanmukaiseksi. Keinonen oli myös keskustellut Jyväskylän yliopiston kanssa (professori Juha Äystö, professori Rauno Julin) ilmaisinlaboratorion toimintaan osallistumisesta ALICE-projektin yhteydessä.

Kokouksessaan 19.5.1999 HIPin johtokunta yhtyi periaatteessa Keinosen toimenpidesuosituksiin. HIPin johtaja Byckling esitteli laatimansa listan toimenpiteistä, jotka voitaisiin toteuttaa välittömästi. Hänen esityksessään oli otettu huomioon myös se, mihin HIP oli jo CMS:n Memorandum of Understanding – sopimuksessa sitoutunut sekä mitä oli sovittu CMS-

kollaboraation kanssa usean vuoden aikana käydyissä sopimuksen yksityiskohtia koskevissa neuvotteluissa.

HIPin tavoitteet ja velvoitteet liittyivät mekaniikkarakenteisiin, tiedonkeruujärjestelmään ja ohjelmistokehitykseen ja perustuivat HIPissä olevaan osaamiseen ja kokemukseen. Samalla tavalla ALICE-hanke eteni ALICE-kollaboraation Memorandum of Understanding -sopimuksen ohjaamana. Kuten Heuerin ryhmä oli suositellut, oli HIPin ilmaisinkehitys- ja rakennustoiminta parhaan tuloksen saamiseksi suunnattava täydentämään meneillään olevia toimintoja CMS-projektissa. Tässä uusi nimitettävä professori oli avainasemassa, hänen tuli johtaa ja vahvistaa Fysiikan laitoksen osallistumista CMS-kokeeseen. Välittömästi toteutettaviksi toimenpiteiksi johtaja Byckling listasi Suurenergiafysiikan ja LHC-ohjelman yhdistämisen sekä MSGC/GEM-ilmaisimien testauksen aloittamisen CERNin testisuihkuissa. LHC-ohjelman tuli tukea testejä asettamalla käyttöön CMS Tracker-projektissa rakennettu Silicon Beam Telescope -laitteisto ja Veikko Karimäen CMS software -ryhmän analyysituki. Lisäksi johtaja Byckling esitti, että hanketta koordinoimaan määrättäisiin SEFT/HIP- beam-teleskooppiprojekteissa työskennellyt DI Mikko Juntunen vuoden 1999 ajaksi. Koordinaattoria pyydettäisiin tekemään hankkeen kustannuslaskelma, jonka perusteella 600 000 mk:n määräraha ohjattaisiin testeihin. Kumpulan ilmaisinlaboratorion suunnittelussa mukana oleva HIPin edustaja raportoisi HIPin johtokunnalle suunnittelun edistymisestä. Helsingin yliopiston Fysiikan laitos huolehtisi pääasiassa ja yhteistyössä HIPin kanssa tarpeellisen laitteiston, infrastruktuurin ja teknisen henkilön hankinnasta niin, että uudelleen suunnattu HIPin ilmaisintoiminta saisi riittävät toimintaolosuhteet. Johtokunta päätti, että lähdettäisiin toteuttamaan HIPin johtajan esittämiä toimenpiteitä.

Hiukkasfysiikan ohjelman johtaja Risto Orava oli tyytymätön johtaja Bycklingin esitykseen ja esitti eriävän mielipiteensä kirjeessä johtokunnan kokoukseen 14.6.1999. Hän vaati, että ensinnäkin johtokunta huomioisi päätöksessään hänen asemansa Suomen Akatemian rahoittaman ilmaisinprojektin ”Tracking detector development for high rate particle physics experiment” vastuullisena johtajana. Toiseksi hän esitti, että MSGC/GEM-suihkutestiprojektin koordinaattoriksi määrättäisiin FM Kenneth Österberg. Vastauksena Oravan kirjeeseen johtaja esitti päätökseksi, että Oravan asema Suomen Akatemian tutkimusprojektin johtajana todetaan. Toiseksi Byckling totesi, että Mikko Juntunen ja Kenneth Österberg olivat jo käynnistäneet yhdessä MSGC/GEM-hankkeen ja olivat laatimassa sen rahoituksesta HIPin johtajalle ja professori Juhani Keinoselle esitettävää käyttösuunnitelmaa. Hän katsoi, että vastaukseksi Risto Oravan kirjeeseen riitti todeta, että hanke oli käynnistynyt Risto Oravan esittämän suunnitelman mukaisesti ja että johtokunnan aikaisempien päätöksien lisäksi ei tarvittu lisäpäätöksiä. Johtokunta hyväksyi johtajan päätösesityksen.

9.5. Kokeellisen hiukkasfysiikan professuurin täyttö 1999

HIPin ja Helsingin yliopiston Fysiikan laitosten yhdessä perustaman kokeellisen hiukkasfysiikan professuurin haun asiantuntijoiksi Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan tiedekuntaneuvosto nimitti seuraavat henkilöt: professori David Hitlin (CALTECH), Dr. Hans Falk Hoffmann (CERN), Dr. Albert De Roeck (CERN) ja Dr. Horst Wenninger (CERN).

Asiantuntijaryhmä laati yhteisen arvioinnin hakijoista ja esitti kolmea henkilöä lyhyelle listalle: dosentti Risto Orava, doctor rer.nat. Joachim Mnich, dosentti Jorma Tuominiemi. Ensimmäiselle sijalle ryhmä asetti Risto Oravan, arvioiden tämän parhaiten täyttävän professuurin fysiikan opetusta koskevat kriteerit ja edellytykset kokeellisen hiukkasfysiikan vahvistamiseen Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksessa. Professorin oli otettava vastuulleen hiukkasfysiikan opetuksen kehittäminen ja nuoren polven houkutteleminen alalle. Jälkimmäisestä Oravalla oli näyttöä DELPHI-kokeen alkuvaiheesta. Jorma Tuominiemi asetettiin kolmannelle sijalle. Asiantuntijaryhmä katsoi, että hänellä oli tärkeä rooli CMS-kokeeseen osallistumisessa, hyvä verkostoituminen CERNissä ja CMS-kollaboraatiossa ja luottamusasema CMS-kokeen johdossa, muun muassa kokeen Management Boardin jäsenenä. Hänellä oli näin parhaat edellytykset taata HIPin CMS-ohjelman jatkuminen menestyksellisenä. Asetelma oli ryhmän mielestä optimaalinen ratkaisu suomalaisen hiukkasfysiikan kokeellisen tutkimuksen tulevaisuudelle. Tämä näkyy lausunnon seuraavassa kohdassa: ”The referees suggest, that the duties of a professor in experimental physics in the Department of Physics, since they require a strong presence at the University, should be considered to be separate from day-to-day responsibility for the Finnish participation in CMS, which requires presence at CERN for a large part of the year. This point was important in arriving at our ranking of the candidates.” Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan asettama virantäyttötoimikunta esitti 21.6.1999, että tiedekunta päättäisi hakijoiden ehdollepanojärjestykseksi asiantuntijoiden ehdottaman järjestyksen. Helsingin yliopiston kansleri nimitti Risto Oravan professuuriin 1.12.1999 lähtien.

Asiantuntijaryhmässä oli kolme CERNin seniorifyysikkoa, jotka tunsivat hyvin HIPin toiminnan CMS-projektissa. Ryhmä otti lausunnossaan esille Jorma Tuominiemen aseman HIPin LHC-ohjelman johtajana: ”This is an important position, which requires continuity and presence at CERN, to assure Finland’s effective participation in the LHC program. Discussions with various people involved with the CMS management lead to the conclusion that Dr. Tuominiemi is strongly supported in this position and it would be very beneficial for the continuity of the project, if he could exercise this position with the same authority in future.”

9.6. Tieteellisen neuvottelukunnan vierailu 1999

SAB teki kolmannen vierailunsa HIPiin vähän hiukkasfysiikan professorin viran täyttämisehdotuksen julkaisemisen jälkeen, 14.6.1999. Professori Keinonen esitteli ehdotuksen neuvottelukunnalle ja kertoi nimityksen tapahtuvan syksyn kuluessa niin, että uusi professori voisi aloittaa vuoden 2000 alusta. Neuvottelukunnalle oli toimitettu ennen vierailua myös dokumentointi professori Heuerin ilmaisinarviointiryhmän raportista ja professori Keinosen sen johdosta tekemän ehdotuksen toimenpiteistä fokusoidun, korkeatasoisen ilmaisinkehitystoiminnan kehittämiseksi HIPissa. SAB antoi suosituksille täyden tukensa.

Kokeellista hiukkasfysiikkaa koskevissa suosituksissaan SAB totesi, että HIPin johtokunnan päätös Hiukkasfysiikan ohjelman ja LHC-ohjelman yhdistämisestä olisi hyvä ratkaisu menestyksellisen LEP- ja LHC -kokeisiin osallistumisen kannalta. SAB totesi edelleen, että sen aiemmin suosittelema HIPin resurssien siirtäminen LHC-projektiin oli jo edesauttanut Hiukkasfysiikan ohjelman ja LHC-ohjelman voimien yhdistämistä. LEP-kokeiden päätyttyä DELPHI-kokeen analyysi tulisi jatkumaan, ja siihen uusi kokeellisen hiukkasfysiikan professori Fysiikan laitoksessa tulisi osallistua. HIPin johtajan tuli ohjata LEP-analyysiin riittävästi resursseja osana HIP-CERN yhteistyötä. Uuden professorin toiminnan pitkän ajan tähtäimenä tuli olla kokeellisen hiukkasfysiikan opetuksen, hiukkasfysiikan tutkimuksen sekä hiukkasilmaisintoiminnan vahvistaminen Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksessa. HIPin LHC-ohjelman päätehtävänä vuoteen 2005 asti tuli olla CMS-, ALICE- ja ATLAS -projektien Memorandum of Understanding -dokumenteissa sovittujen vastuutehtävien toteuttaminen. Neuvottelukunnan arvion mukaan tämä oli vaativa tehtävä, joka vaati nopeita toimia resurssien varmistamiseksi. Merkittävät vastuut CMS-projektissa ja koeaseman tiukka rakennusaikataulu olivat haaste HIPille. Siksi suomalaisen CMS-ryhmän johdon jatkuvuus ja merkittävä läsnäolo CERNissä oli hyödyllistä. HIPin LHC-ohjelman johtaja, dos. Jorma Tuominiemi, nautti CMS-projektin johdon luottamusta, joten oli SABin mielestä toivottavaa, että hän voisi jatkaa tässä tehtävässä entisillä valtuuksilla.

Uusi kokeellisen hiukkasfysiikan professuuri Helsingin yliopistossa tuli avaamaan uusia mahdollisuuksia kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimuksen ja koulutuksen vahvistamiselle Helsingin yliopiston fysiikan laitoksessa ja tuki siten Suomen menestyksellistä pitkän tähtäimen osallistumista fysiikan tutkimukseen CERNin LHC-projektissa. Rakentava yhteistyö Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksen ja HIPin välillä oli tärkeää, kun HIPillä oli vastuu Suomen CERN-yhteistyöstä ja se toimi rahoitustahona (funding agency) CERNin kokeisiin osallistumisessa. Suomessa Helsingin yliopisto ja Jyväskylän yliopisto olivat päävastuussa hiukkasfysiikan ja ydinfysiikan tutkimuksessa. Siksi re-

surssien lisääminen hiukkasfysiikan tutkimukseen Helsingin yliopistossa oli neuvottelukunnan mielestä ensiarvoisen tärkeää.

SABin raportti oli kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimuksen osalta hyvin samansuuntainen kuin uuden professuurin hakuprosessin asiantuntijoiden lausunto. Tämä ei ollut taaskaan yllättävää, ensinnäkin näiden asiantuntijaryhmien kokeellista hiukkasfysiikkaa tunteneet jäsenet olivat hyvin perehtyneitä CERNin toimintaan ja toiseksi kaksi heistä oli jäsenenä kummassakin ryhmässä. Hans Hoffmann ja Horst Wenninger kuuluivat myös CERNin johtoon.

9.7. HIPin toiminnan uudelleenjärjestelyt, uusi johto, uusi SAB

SABin raportti oli pohjana HIPin johtokunnan 10.10.1999 kokouksessa käsittelyyn tulleen HIPin johtajan laatimalle vuoden 2000 tutkimusohjelman luonnokselle. Siinä Hiukkasfysiikan ohjelma oli esitetty liitettäväksi LHC-ohjelmaan Elektroni-positroni-fysiikan projektina. Hiukkasfysiikan ohjelman johtaja Risto Orava toimitti johtokunnalle suunnitelmasta eriävän mielipiteen. Hänen mielestään suunnitelmaa ei ollut valmisteltu asianmukaisesti, siinä ei ollut otettu huomioon arviointiryhmien esittämiä suosituksia sekä muita v. 1999 aikana tehtyjä selvityksiä ja esityksiä. Orava esitti uuden työryhmän perustamista suunnitelman valmisteluun sekä Hiukkasfysiikan ohjelman säilyttämistä erillisenä. Samalla hän toimitti oman ehdotuksensa Hiukkasfysiikan ohjelman toimintasuunnitelmaksi vuodelle 2000. Johtokunnan jäsen professori Dan-Olof Riska esitti puolestaan, että Teknologia-ohjelmasta tehtäisiin asiantuntija-arviointi ennen tutkimussuunnitelman hyväksymistä. Näiden interventioitten jälkeen johtokunta päätti panna tutkimussuunnitelman pöydälle jatkovalmistelua varten. Samoin HIPin budjettiesitys vuodelle 2000 sekä ohjelmanjohtajien nimitykset siirrettiin jatkovalmisteluun.

Seuraavaan kokoukseen 3.11.1999 johtaja Byckling toi uuden esityksen, jossa Hiukkasfysiikan ohjelmaa ja LHC-ohjelmaa ei ollut yhdistetty. Hiukkasfysiikan ohjelman suunnitelma noudatti Risto Oravan tekemää ehdotusta. Johtokunta hyväksyi tämän esityksen lisäyksellä Hiukkasfysiikan ohjelmaan liitettävästä esitutkimuksesta, josta Orava oli toimittanut kokoukseen selvityksen. Lisäys koski hyvin pienen kulman protoni-protoni-sirontaa mittaavaa ilmaisinjärjestelmää, jolla voitaisiin tutkia QCD-prosesseja uudella rapiditeettialueella. Joukko teoreetikoita oli myös alkanut tutkia, mitä mahdollisuuksia oli etsiä Higgsin hiukkasta kaksoisdiffraktiivisissa pp-törmäyksissä. Näissä molemmat protonit siroavat hyvin pieneen kulmaan ja keskirapiditeettialueella on mahdollista tuottaa uusia hiukkasia.

Johtajan esitys ohjelmien budjeteiksi vuodelle 2000 oli seuraava:

Teoriaohjelma	5,78 milj. FIM
Hiukkasfysiikan ohjelma	2,1 milj. FIM
LHC-ohjelmalle	5,9 milj. FIM
Teknologiaohjelma	3,95 milj. FIM
Yleiset määrärahat	4,27 milj. FIM
Yhteensä	22,0 milj. FIM

Esitys hyväksyttiin lisäyksellä, että jos MSGC/GEM Tracker -projekti käynnistyy, sille varataan rahoitusta. Rahoituksen suuruudesta johtokunta päättäisi myöhemmin. Tämä päätös syntyi äänestyksen jälkeen (päätös äänin 3-2). Johtajan esitystä ohjelmanjohtajien nimityksistä muutettiin osittain. Koska Hiukkasfysiikan ohjelman ja LHC-ohjelman yhdistäminen oli auki, päädyttiin lyhytaikaisiin kiinnityksiin odottamaan uusia päätöksiä. Risto Oravan ja Jorma Tuominiemen nimitykset ohjelmanjohtajiksi tehtiin 31.12.2001 asti. Tuominiemi kiinnitettiin kuitenkin 1.1. 2002–31.12.2005 entisin palkkaeduin vastaamaan LHC-hankkeisiin liittyvien kokeiden loppuun viemisestä. Tässä noudatettiin Tieteellisen neuvottelukunnan suosituksia. LHC-ohjelman projektipäälliköitten, Veikko Karimäen ja Miikka Kotamäen kiinnityksiä jatkettiin vuodella 31.12.2002 asti ja Ydinaineen projektipäällikön Vesa Ruuskasen nimitys tehtiin ajalle 1.1.2000–31.12.1002. Kysymys HIPin ohjelmarakenteesta päätettiin siirtää johtokunnan kokoukseen helmikuussa 2000.

MSGC/GEM-projekti oli viivästynyt alkukesällä v. 1999 esitetystä. Toisaalta CERNin CMS-projektissa oli aloitettu keskustelu siirtymisestä piinauhailmaisimien käyttöön koko keskusratailmaisimen tynnyriosassa. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli kustannussyistä vain neljä sisintä ilmaisinsylinteriä suunniteltu rakennettavaksi pii-ilmaisimista ja ulommat kerrokset MSGC-ilmaisimista. Suunnitelman muuttamiseen oli useita syitä. MSGC-ilmaisimien käyttö useassa tuolloin käynnissä olleessa hiukkasfysiikan projektissa oli kohdannut ongelmia. DESY-laboratorion HERA-B-kokeeseen oli rakennettu suuri MSGC-ilmaisinjärjestelmä, jonka käynnistämisessä oli vaikeuksia. Toiseksi pii-ilmaisimien prosessointihinta teollisuudessa oli pudonnut merkittävästi alkuperäisten suunnitelmien teon jälkeen. Koska piinauhailmaisimiin perustuva ratailmaisin on helpompi rakentaa ja operoida kuin MSGC-ilmaisimiin perustuva, kiinnostus suunnitelman muuttamiseen oli nopeasti lisääntynyt. Tämä teki epävarmaksi HIPin suunnitelman osallistua CMS:n tynnyriosan rakentamiseen MSGC-ilmaisimia käyttäen.

Joulukuussa 1999 CMS-kollaboraatio teki lopulta päätöksen luopua MSGC/GEM-detektoreista ja siirtyä käyttämään piinauhailmaisimia koko keskusratailmaisimen tynnyriosassa. Tämä merkitsi muutosta myös HIPin suunnitelmiin. Risto Orava toi johtokuntaan esityksen, jossa suunnitteilla

olevien etusuunnan ratailmaisimien rakentamisessa käytettäisiin edelleen MSGC/GEM-teknologiaan perustuvia ilmaisimia. Johtokunta päätti sisällyttää Oravan esityksen mukaisesti etusuuntadetektorin suunnitteluprojektin Hiukkasfysiikan ohjelmaan. Aiemman MSGC/GEM-projektin henkilökunta siirtyi uuteen hankkeeseen. Projektin aloittamiseksi johtokunta päätti siirtää säästyneitä varoja uuteen projektiin 700 000 mk.

HIPin johtajan, professori Eero Bycklingin kiinnitys oli päättymässä 31.12.2000. Vuoden 2000 alussa Byckling ilmoitti, että hän siirtyy eläkkeelle jo 1.7.2000 alkaen. Eero Byckling oli vienyt menestyksellä päätökseen HIPin perustamisen ja sen toiminnan aloittamisen v. 1995 tehtyjen suunnitelmien mukaisesti. Hän oli vahva ja määrätietoinen johtaja. Suunnitelmia valmisteltaessa hän kuunteli huolellisesti eri toimijoita ja muodosti niiden perusteella päätöksensä asioitten eteenpäin viemiseksi. Niitä hän seurasi sitten johdonmukaisesti. Byckling piti tiiviisti yhteyksiä päärahoittajaan, Opetusministeriöön, sekä jäsenyliopistoihin. Hän huolehti siitä, että Tieteellinen neuvottelukunta oli arvovaltainen ja myös teknologian edustaja näkyvässä asemassa.

Professori Dan-Olof Riska, HIPin johtaja 2000 – 2012.

Johtokunta julisti HIPin johtajan viran haettavaksi, hakuajan päättyessä 15.3.2000. Määräaikana virkaa haki kahdeksan henkilöä. Johtokunta päätti kokouksessaan 9.5.2000 nimittää uudeksi johtajaksi professori Dan-Olof Riskan Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksesta 1.7. 2000 alkaen. Myös HIPin hallintopäällikkö vaihtui, Erkki Pajanne siirtyi eläkkeelle 1.4.1999 lukien. Uudeksi hallintopäälliköksi nimitettiin dos. Mikko Sainio, joka aloitti tehtävässään 1.7.1999. Tointa hoiti väliaikaisesti dos. Matti Kaivola TKK:lta.

OPM nimitti professori Riskan CERNin Neuvoston fyysikkoedustajaksi v. 2003 alussa. Tämä todettiin tyydytyksellä hiukkasfyysikoiden keskuudessa. Yleisesti oli pidetty epäkohtana, että Neuvoston fyysikkoedustaja ei aiemmin ollut hiukkasfysiikan edustaja. Riska toimi Neuvoston varapuheenjohtajana vv. 2010–2013. OPM (OKM) nimitti jatkossakin Neuvostoon HIPin johtajan.

SABin toimikausi oli päättymässä v. 2000. HIPin johtokunta ryhtyi toimeen uuden neuvottelukunnan kutsumiseksi. Jäseniksi suostuivat professori Hans Hoffmann (CERN), johtaja Martti Mäenpää (TT:n metalliteollisuuden johtaja), professori Maurice Rice (materiaalifyysikko, ETH Zürich), professori Hans Specht (raskasionifyysikko, Heidelbergin yliopisto), professori Albrecht Wagner (johtaja, DESY) ja professori Gabriele Veneziano (teoreettinen hiukkasfyysikko, CERN).

Uusi SAB kokoontui 4.9.2000 Helsingissä. Yleisissä kommenteissaan SAB otti esille ristiriidan, joka vallitsi HIPin rekrytointipolitiikan ja CERNin kokeellisten tutkimusprojektien (LEP, LHC) pitkän keston välillä. Uuden professuurin saaminen Helsingin yliopistoon kokeelliseen hiukkasfysiikkaan

oli parantanut tilannetta jonkin verran. SAB esitti tukensa HIPin johtajalle pyrkiä luomaan lisää pysyviä paikkoja, muitakin kuin professuureja ja yhdessä muitten yliopistojen kanssa. SAB ilmaisi myös huolensa HIPin budjettiin vuodelle 2001 tehdystä leikkauksesta ja korosti rahoituksen jatkuvuuden tärkeyttä HIPin menestykselle LHC-projektissa ja kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimuksessa yleensä.

SAB ennakoi DELPHI-kokeen fysiikan analyysin vielä jatkuvan ja tuottavan lisää tutkintoja Suomessa. Se esitti kiinnostuksensa etusuunnan fysiikan projektista sekä ilmaisinlaboratorion suunnitelmista ja odotti niistä keskipitkän aikavälin suunnitelmia seuraavaan kokoukseensa. LHC-ohjelman osalta SAB esitti tyytyväisyytensä CMS-aktiviteettien edistymisestä. Keskusratailmaisimen MSGC-ilmaisimien korvaaminen piinauhailmaisimilla merkitsi uutta suunnittelua, josta SAB odotti saavansa tietoa seuraavaan kokoukseensa. Jyväskylän ydinaineen tutkimuksen ryhmänsuunnitelmat osallistumisesta ISOLDE-aktiviteetteihin ja ALICE-kokeeseen olivat neuvottelukunnan mielestä merkittävä uusi laajennus Jyväskylän ryhmän ja HIPin toimintaan. SAB suositteli aloitteiden tukemista ja pyysi selvityksiä hankkeista seuraavaan kokoukseen.

10. Hiukkasfysiikan tapahtumia Suomessa 1998–1999

10.1. Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksen tutkijalinjan hiukkasfysiikan kesäkoulu 1998

Helsingin yliopiston Fysiikan laitos (FL) järjesti yhteistyössä HIPin kanssa hiukkasfysiikan kesäkoulun Kiljavanrannan kurssikeskuksessa 31.8.–4.9.1998. Tämä intensiivikurssi oli tarkoitettu lähinnä kolmannen vuoden perustutkinto-opiskelijoille, joilla oli tutkijanura mielessä ja joilla oli tätä varten FL:n toimesta nimetty tutori. Kurssin tarkoituksena oli perehdyttää osanottajat kokeellisen ja teoreettisen hiukkasfysiikan ajankohtaisiin aiheisiin ja lisätä motivaatiota fysiikan jatko-opiskeluun. FL järjesti samanlaisia kursseja muillakin fysiikan aloilla.

Kiljavanrannan v. 1998 kesäkoulun osanottajat. Koulun pääluennoitsijat professori Cecilia Jarlskog keskellä toisessa rivissä ja professori Siegfried Bethke takarivissä toinen vasemmalta.

Kurssin järjestelytoimikuntaan kuuluivat professori Kari Eskola (FL) puheenjohtajana ja muina jäseninä dos. Claus Montonen (HIP), yo. Walter Rydman, dos. Jorma Tuominiemi (HIP) sekä sihteerinä FM Tomas Lindén (FL). Kurssin osanottajamääräksi mitoitettiin 25 opiskelijaa. Kun kiinnostusta kurssille osallistumiselle tuli myös TKK:n opiskelijoiden taholta, päätettiin ottaa heistä parhaita mukaan. Järjestelytoimikunta valitsi kouluun 17 FL:n tutkijalinjalaista ja 8 TKK:n opiskelijaa. Kurssin järjestämiseksi saatiin tukea matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan opetuksen kehittämismäärärahasta.

Koulun ohjelma koostui 45 minuutin kaksoisluennoista ja niihin liittyvistä laskuharjoituksista ja kyselyistunnoista. Pääluennoitsijoiksi oli saatu professori Siegfried Bethke Aachenin teknillisestä korkeakoulusta ja professori Cecilia Jarlskog Lundin yliopistosta ja CERNistä. Professori Bethken luentojen aihe oli ”Selected Topics on Standard Model Physics at LEP” ja professori Jarlskogin luennot käsittelivät fysiikan symmetrioita ja standardi-

mallin perusteita. Lisäksi dos. Katri Huitu (HIP) ja dos. Jorma Tuominiemi pitivät kaksi kaksoisluentoa relativistisesta kvanttimekaniikasta, kenttäteoriasta ja vaikutusalojen laskemisesta ja mittaamisesta. Näiden luentojen tarkoituksena oli täydentää opiskelijoiden tietoja pääluentoja varten. Lisäksi järjestettiin kolme iltaseminaaria, joissa dos. Hannu Kurki-Suonio esitelmöi kosmologiasta, Claus Montonen säieteorioista ja Jorma Tuominiemi CERNin LHC-ohjelmasta. Akateemikko Olli Lounasmaa piti koulun päätteeksi esitelmän aivotutkimuksesta Suomessa. Osallistujille järjestettiin kurssin sisällöstä kotitentti, jonka tekemiseen annettiin aikaa kolme viikkoa. Kurssin suorittamisesta hyvitettiin tentin suorittaneille opiskelijoille kolme opintoviikkoa. Molemmat pääluennoitsijat saivat erinomaiset arvosanat opiskelijoita. Opiskelijoista kymmenkunta päätyi jatko-opintoihin hiukkasfysiikassa, neljä väitteli tohtoriksi ja yksi on yltänyt professoriksi asti.

10.2. EPS HEP -konferenssi Tampereella v. 1999

Euroopan Fyysikkoseuran (EPS) Hiukkasfysiikan jaosto oli järjestänyt 1980-luvulta lähtien kansainvälisiä hiukkasfysiikan konferensseja (Europhysics Conference on High Energy Physics) joka toinen vuosi. Ne vuorottelivat International Committee for Future Accelerators -komitean (ICFA) järjestämien ns. Rochester-konferenssien (ICHEP) kanssa, ja olivat siten alan pääkonferensseja. Konferenssien osanottajamäärät olivat vaihdelleet 400–600 välillä. Konferenssin järjestäminen Suomessa tuli keskustelun aiheeksi 1990-luvun puolivälissä. Vuoden 1997 alussa asiassa tehtiin yksilötason aloite EPS:n Hiukkasfysiikan jaoston suuntaan ja kaavailtiin konferenssin järjestämistä Tampereella, Tampere-talossa v. 1999. Suomen fyysikkoseuran puheenjohtajaksi v. 1997 keväällä valittu professori Dan-Olof Riska otti asian hoitaakseen ja sopi EPS:n Hiukkasfysiikan jaoston kanssa, että konferenssin suomalainen järjestäjäosapuoli oli Suomen Fyysikkoseura.

EPS:n hiukkasfysiikan jaosto toimi tavan mukaan konferenssin järjestelykomiteana. Jaoston puheenjohtajana oli vv. 1997–1999 professori Wolfgang Kummer Wienin Teknillisestä yliopistosta. Suomessa järjestelyjä hoitamaan asetettiin paikallinen järjestelykomitea, jonka puheenjohtajana toimi professori Matts Roos. Yhteyshenkilöksi ja jäsenekseen EPS:n hiukkasfysiikan jaosto kutsui dos. Jorma Tuominiemen paikallisesta järjestelykomiteasta. Konferenssi järjestettiin 15.–21.7.1999 Tampere-talossa.

Konferenssin puhujina oli edustava joukko alan aktiivisia tutkijoita. Konferenssin päätteeksi professori Michael Peskin (SLAC) esitti yhteenvedon teoreettisista kontribuutioista ja professori Lorenzo Foá (Pisan yliopisto ja CERN) kokeellisista tuloksista. Avajaisseremoniassa luovutettiin professori Gerard `t Hooftille (Utrechtin yliopisto) EPS:n vuotuinen Fysiikan palkinto. Rekisteröityjä osanottajia konferenssissa oli 557 fyysikkoa 48 maasta, Suomesta 39.

11. CMS-projektin rakennustyöt alkavat vuonna 2000

LHC-törmäyttimen rakennustyöt aloitettiin vuosituhannen vaihteessa. Vuoden 2001 maaliskuussa toimitettiin ensimmäinen teollisuudessa valmistettu dipolimagneetti CERNiin. LHC:n suunniteltiin valmistuvan v. 2006 mennessä, jolloin ensimmäiset suihkut käynnistettäisiin. Vuonna 2002 kävi kuitenkin ilmi, että LHC:n rakennusbudjetti oli alimitoitettu ja törmäyttimen käynnistämistä lykättiin vuoteen 2007. LHC-kokeiden aikataulut viritettiin tämän mukaisesti.

11.1. HIPin CMS Tracker -projekti 2000–2005

Rakennustyöt CMS-projektissa alkoivat sitä mukaa, kun Technical Design -dokumentit oli hyväksytty CERNin LHC-komiteassa. Yksittäisten CMS-koeaseman osien osalta käytiin vielä läpi Engineering Design Review –prosessit. CMS oli vuoden 2000 alussa päättänyt rakentaa TOB-ratailmaisimen kokonaan piinauhailmaisimista. Tämä herätti kysymyksen siitä, oliko ratailmaisimen tukirakenteeseen tehtävä muutoksia. Siihen oli kiinnostusta CMS:n italialaisissa jäseninstituuteissa. Uusi suunnittelu olisi kuitenkin merkinnyt arviolta vuoden lykkäystä projektiin, mikä ei ollut rakennusaikataulun kannalta suinkaan pulmatonta. Onneksi Big Wheel -prototyypin avulla voitiin nopeasti todentaa, että tarvittavat muutokset koskivat vain modulikiskoja, eivätkä olleet suuria. Italialaiset instituutit päättivät tämän jälkeen keskittyä ratailmaisimen sisemmän osan (TIB) rakentamiseen, sehän oli alun alkaen suunniteltu piinauhailmaisimiin perustuvaksi. TOB-osa jäi näin CERNin ja HIPin yhteiseksi projektiksi. Mukaan tuli nyt myös amerikkalainen Santa Barbaran yliopisto, jonne Dr. Joseph Incandela oli siirtynyt professoriksi Fermilabin CMS-ryhmästä. Incandela oli kiinnostunut ilmaisinmodulien asentamisesta modulikiskoihin ja hankki tarvittavat tarkkuuslaitteet asennusta varten Santa Barbaraan.

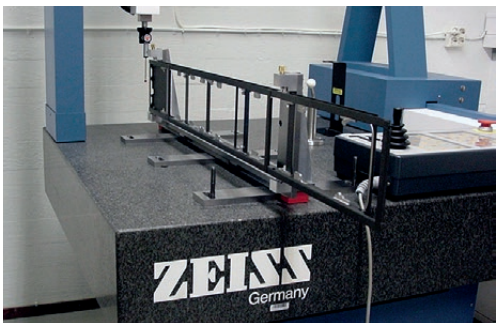
CMS:n pii-ilmaisinratkaisu aktivoi HIPissä uudelleen suunnitelmat piinauhailmaisinmodulien rakentamisesta Suomessa. FT Tuure Tuuva, joka työskenteli Oulun yliopistossa tutkimusprofessorina, teki aloitteen HIPin, Oulun yliopiston ja SELMIC Oy:n yhteistyöstä ja modulien kokoamisesta SELMICissä. Tuuva ja Antti Honkanen (HIP) laativat tästä suunnitelman, jonka esitimme CMS:n Tracker Institute Boardin kokouksessa heinäkuussa 2000. HIPin johdon projektille lupaaman tuen pienuudesta johtuen esitimme vain n. 1000 modulin rakentamista (moduleja tarvittiin kaikkiaan n. 15 000). CMS:n Tracker-projektin Institute Board katsoi tämän olevan liian pieni määrä kokonaisuuden kannalta ja hanke raukesi tähän. Tämä oli ikävä vastoinkäyminen, joka vaikutti HIPin CMS-kokeeseen osallistumisen laajuuteen. Uuden pii-ilmaisin -TOBin Technical Design Report (CERN-LHCC-2000-016; CMS-TDR-5-add-1) jätettiin LHC-komitealle 21.2.2000.

Mekaanikot Jarmo Kortesmaa ja Auli Kuronen kokoamassa CMS:n Outer Trackerin ilmaisinmodulien kiinnityskehikkoja (modulikiskoja) Kumpulan Ilmaisinlaboratoriossa (Kuva HIP)

Big Wheel -prototyyppiä testattiin edelleen vuoden 2000 kuluessa sen rakennettavuuden ja toiminnallisuuden varmistamiseksi. Testit osoittivat, että hiilikuiturakenne voitiin koota ja linjata vaadittujen toleranssien sisällä. TOB-tukirakenteen rakennussuunnitelma hyväksyttiin marraskuussa v. 2000 CMS-kollaboraation Tracker Engineering Design Review -komitean katselmuksessa. Tämän jälkeen voitiin siirtyä TOB-tukirakenteen tarjouspyyntövaiheeseen.

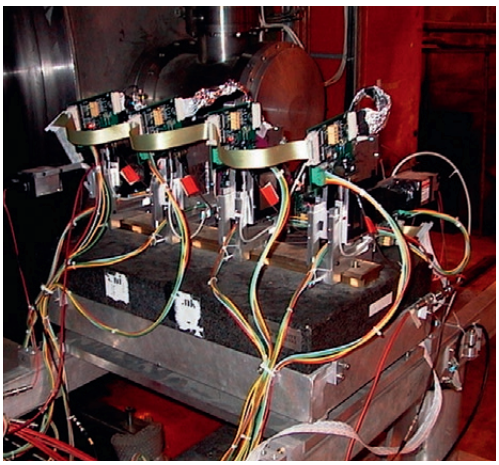
Ilmaisinmodulien kiinnityskiskojen (rod frames) rakentaminen aloitettiin Kumpulassa v. 2002. Tätä varten Kumpulan ilmaisinlaboratorioon rakennettiin kiskojen rakennustilat ja -välineistö sekä palkattiin tarkkuusasennuksiin koulutettu mekaanikko. Tehtävään tuli mekaanikko Jarmo Kortesmaa Suomen kelloseppäkoulusta. Rakennusprojektin koordinaattoriksi nimitettiin DI Harri Katajisto. Ensimmäiset sarjatuotantokiskot toimitettiin CERNiin kesällä 2003. Vuoden 2002 lopulla kokoamistyöhön palkattiin vielä toinen koulu-

DI Harri Katajisto kiinnityskiskoa kokoamassa (Kuva HIP)



Ilmaisinmodulien kiinnityskisko mittauslaitteessa TKK:n Konetekniikan laboratoriossa.

DI Esa Tuovinen prosessoimassa Czochralski-pii-ilmaisimia TKK:n Micronova-laboratoriossa. (Kuva HIP)



HIPin Silicon Beam Telescope CERNin H2-suihkussa. (Kuva Arto Teräs)

tettu mekaanikko, Auli Kuronen, kelloseppäkoulusta hänkin. Kiskot testattiin Kumpulassa ja niiden fysikaaliset mitat tarkistettiin TKK:n Konetekniikan laboratoriossa.

Erikoishiilikuitumateriaalin toimitti EXEL Composites Oyj, joka oli kehittänyt pultruusio-valmistustekniikkaa niin, että kiskojen valmistustarkkuus oli vaatimusten mukainen. Kiskoprofiilien vesisuihkuleikkauksen teki Ultracut Oy, tarvittavat hiilikuitulevyt Sinex Oy, koneistetut alumiini-, messinki- ja muoviosat Mansner Oy Hienomekaniikka ja kiskojen liimaustyökalut toimitti Tuusulan työkalukoneistus Oy. Kumpulassa modulikiskot varustettiin CERNistä toimitetuilla jäähdytysputkilla. Kiskojen valmistusprosessi Suomessa saatiin päätökseen v. 2005, jolloin CERNiin oli toimitettu 750 täysin varustettua kiskoa. Hanketta johtanut DI Harri Katajisto siirtyi yksityisen yrityksen palvelukseen v. 2005 lopulla.

Mekaniikkaryhmän toisena projektina oli suunnitella ja rakentaa RPC-ilmaisinjärjestelmään erikoistyyppisiä koteloita sen liipaisulaitteiston Link Boardeja varten. Suunnitteluun ja kokoamiseen palkattiin TKK:n opiskelija Tapio Laihomäki, joka teki projektista diplomityön v. 2005 TKK:n Konetekniikan laboratoriossa otsikolla ”Design, manufacturing and testing of an electronics housing for a physics experiment device”. Koteloita toimitetiin CERNiin 12 kpl v. 2005 alussa.

V. 2002 kesällä HIPin beam-teleskoopin tiedonkeruulaitteisto modernisoitiin perusteellisesti. Sen nopeutta nostettiin tekijällä 50 ja sen toiminta saatiin riippumattomaksi ulkopuolisista laitteista. Rakentamiseen ja testaamiseen osallistuivat FM Teppo Mäenpää, yo. Lauri Wendland, FT Tomas Lindén, FT Saara Nummela (valmistunut Jyväskylän yliopistosta) ja PhD Sandór Czellár.

LHC-törmäyttimen suuresta törmäystaajuudesta johtuen etenkin koeaseman sisimmät ilmaisimet tulivat ajan mittaan saamaan merkittävän sä-

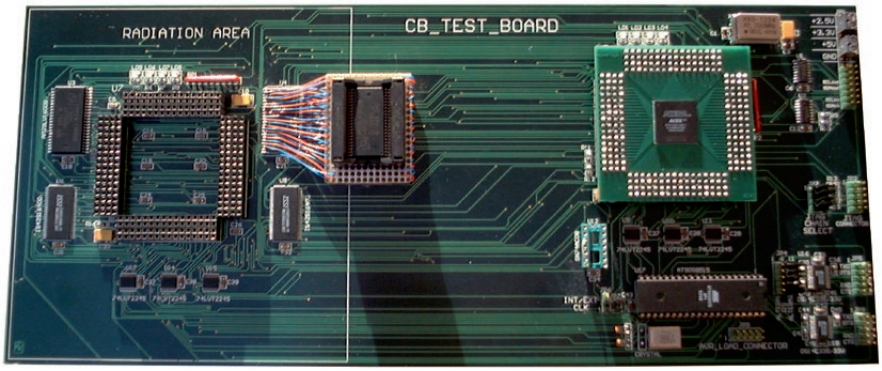
teilyannoksen. Säteilynkestävien pii-ilmaisimien kehittely tulevia kokeita varten oli siksi uusi tärkeä hanke. HIPin Tracker-projektissa aloitettiin VTT:llä Czochralski-kiteenkasvatusmenetelmällä valmistetuista piikiekoista (Okmetic Oyj) prosessoitujen ilmaisimien tutkimus. Projektin johtoon tuli TkT Jaakko Härkönen, joka oli väitellyt puolijohdeteknologiasta. Hän liittyi HIPin Tracker projektiin v. 2001.

Tutkimus tapahtui kiinteässä yhteistyössä pii-ilmaisimien kehitystyötä tehneiden CERNin RD50 ja RD39 kollaboraatioiden kanssa. RD50 on CERNin R&D -ohjelmaan kuuluva yhteistyöhanke, joka tutkii säteilynkestävien puolijohdeilmaisimien kehitystyötä hyvin suuren luminositeetin törmäytinkokeita varten. Kollaboraatioon kuuluu 55 instituuttia. RD39 oli samalla tavalla CERNin koordinoima hanke, joka puolestaan tutkii kryogeenisten pii-ilmaisimien kehittämistä suuren luminositeetin LHC-kokeita varten. Siihen kuuluu 19 instituuttia. Jaakko Härkönen toimii kollaboraation puhemiehenä yhdessä Dr. Zheng Lin (Brookhaven) kanssa vuoteen 2016, jolloin projekti päättyi. Härkönen oli Suomen Akatemian tutkijatohtorina 2002–2006 ja akatemiatutkijana 2007–2012. HIPin ryhmästä tässä projektissa työskentelivät PhD Sandór Czellár, PhD Ivan Kassamakov, DI Panja Luukka, FM Teppo Mäenpää, FM Saara Nummela (v. 2002 ajan) ja DI Esa Tuovinen.

Dr. Sandór Czellár HIPin piiteleskooppi-kokeiden valvomossa CERNin H2-suihkulla. (Kuva HIP)

M.Sc. Donatella Ungaro testaamassa RPC Optical Link -kortteja Jyväskylän kiihdytinlaboratoriossa (Kuva HIP)

Tutkittavat sensorit säteilytettiin Jyväskylän yliopiston Kiihdytinkeskuksessa sekä Brookhavenin laboratoriossa (BNL). Säteilytettyjen ilmaisimien testaus tehtiin CERNin SPS:n H2-suihkussa käyttämällä HIPin beam-teleskooppia. Projektista valmistui ensimmäinen väitöskirja v. 2003, kun Eija Tuominen väitteli TKK:lla 10.10.2003. Väitöskirjan otsikkona oli ”Development of Radiation Hard Detectors – Differencies between Czochralski Silicon and Float Zone Silicon”. Vastaväittäjänä toimi professori Mara Bruzzi Firenzen yliopistosta.



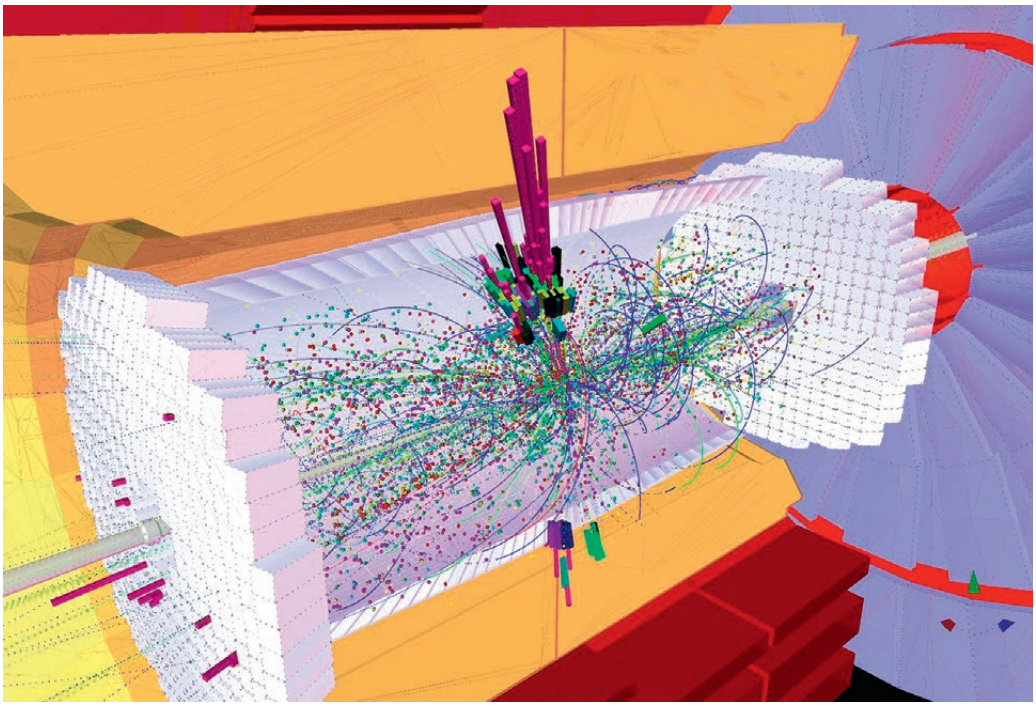
CMS:n RPC-myoni-ilmaisin-järjestelmän liipaisuun kuuluva optisen linkin ohjauskortti. (Kuva HIP)

Sandór Czellár sai CERNin Scientific Associate -kiinnityksen vuodeksi 2002. Hänen tehtävänään oli rakentaa virtalähteet CMS:n keskusratailmaisimen ilmaisinmoduleiden testausta varten CMS-laboratorioihin. Moduleita valmistettiin 40 kpl.

RPC Trigger -projektissa tuli muutoksia v. 2001 kesällä. Esko Pietarinen jäi eläkkeelle ja päävastuu RPC-linkkikorttien suunnittelusta jouduttiin siirtämään Varsovan yliopiston CMS-ryhmälle. HIPin tohtoriopiskelijat Kukka Banzuzi ja Donatella Ungaro jatkoivat projektissa yhteistyössä Varsovan ryhmän kanssa. Ungaron väitöskirja ”The Link-Board Controls in the RPC Trigger System for the CMS Experiment” valmistui keväällä 2004. Väitöstilaisuus Helsingin yliopiston fysiikan laitoksella pidettiin 18.6.2004, vastaväittäjänä oli Dr. Anna Colaleo Barin yliopistosta. Ensimmäinen optisen RPC-liipaisulinkin kortti toimitettiin CERNiin testattavaksi v. 2003 aikana. Korteille tehtiin säteilytestejä myös Jyväskylässä.

11.2. HIPin CMS Software and Physics -projekti

CMS Software and Physics -projektissa jatkettiin törmäystapahtumien simulointi- ja rekonstruktioalgoritmien ja ohjelmistojen kehittämistä, fysiikan simulointia sekä hajautetun laskennan järjestelmän ja sen työkalujen kehittämistä. Nämä aktiviteetit olivat tärkeä kontribuutio CMS:n Software and Computing hankkeeseen, jonka arvioitiin tuolloin vaativan 700 henkilötyövuotta valmistuakseen v. 2006 mennessä. Monte Carlo -simuloidut törmäystapahtumat tarvittiin datamateriaaliksi fysiikan tutkimuksen Technical Design -raportteja varten. Projektissa työskentelivät edelleen dos. Veikko Karimäki (projektin johtaja), dos. Ritva Kinnunen, FT Tomas Lindén ja FM Aatos Heikkinen. Uusina jäseninä mukaan tulivat PhD Kati Lassila-Perini, joka oli väitellyt ETHZ:ssä CMS-simulaatioista, sekä tohtoriopiskelijoina FM Sami



Simuloitu pp-törmäys CMS-koeasemassa. Törmäystapahtuma on simuloitu Pythia-generaattorilla, koeaseman geometria ja sen ilmaisimien hiukkasista antaman tiedon kuvaus GEANT4-koodilla. (Picture: IguanaCMS)

Lehti, DI Tapio Lampén, DI Jukka Nystén, DI Mikko Voutilainen ja FM Lauri Wendland. Väliaikaisesti palkattuina projektissa työskentelivät Veronique Lefébure (CERN) sekä PhD Alexandr Nikitenko ja PhD Nikita Stepanov. Nikitenko ja Stepanov olivat virkavapaalla Moskovan ITEP-instituutista työskennellessään CERNissä. Erityisesti Nikitenkon panos HIPin ryhmässä oli merkittävä ja yhteistyö hänen kanssaan jatkui aina kokeiden aloittamiseen asti. Hän siirtyi Imperial College'in palvelukseen v. 2004.

Tässä vaiheessa CMS-kollaboraatio oli kasvanut jo suureksi, jäsenluettelossa oli lähes 2000 nimeä. CMS-instituutit rekrytoivat mukaan runsaasti tohtoriopiskelijoita, erityisesti fysiikan simulointiin. Tämä aiheutti paineita pienempien instituuttien toiminnalle ja useissa fysiikan analyysiprojekteissa päävastuu luisui suuremmille CMS-instituuteille. Myös HIPin Software and Physics -projekti joutui luovuttamaan johtoaseman joissakin tutkimusaiheissa yksinkertaisesti siksi, että suuremmilla instituuteilla oli enemmän työvoimaa. HIPin ryhmän osaaminen ja pitkä kokemus riittivät kuitenkin useissa aiheissa johtavan aseman säilyttämiseen. Standardimallin Higgsin hiukkasen tärkeimpien hajoamiskanavien tutkimukset kuitenkin liukuivat vähitellen johtavien CMS-instituuttien kontrolliin.

HIPin projekti oli edelleen vastuussa CMSKIN- ja CMSSIM -ohjelmistojen kehittämisestä ja niiden muuttamisesta FOTRAN-koodista C++-koodiin. CMSKIN oli ohjelmapaketti, joka yhdisti teoreettisen hiukkastörmäysten simulointiin kehitetyt törmäysgeneraattorit (Pythia, Herwig, MATGRAPH) törmäysten simulointiin koeaseman hiukkasilmaisimissa, mikä jälkimmäinen tehtiin CMSSIM-paketilla. Tärkeä välitavoite oli C++-koodiin perustuvan ”Object Oriented Reconstruction Programme” (ORCA) -ohjelmiston rakentaminen fysiikan simulointitutkimuksiin, joka saatiin valmiiksi 2002.

Ilmaisimien simuloinnissa siirryttiin käyttämään useilla tieteenaloilla käytössä ollutta GEANT4-laitesimulointipakettia. Tohtoriopiskelija FM Aatos Heikkinen ryhtyi kehittämään GEANT4-koodiin lisäyksiä, jotka tarkensivat sen käyttöä hiukkastörmäyksien ilmaisinsimuloinnissa. ”Bertini intra-nuclear kaskadimalli” sisällytettiin GEANT4 6.0 -versioon HEP törmäytinkokeissa käytettäväksi. HIP liittyi maailmanlaajuiseen GEANT4-kollaboraatioon, jonka kanssa se teki kehitystyötä. Aatos Heikkinen väitteli aiheesta 13.8.2009. Väitöskirjan otsikko oli ”Geant4 hadronic cascade models and CMS data analysis: computational challenges in the LHC era”, vastaväittäjänä toimi Dr. Tancredi Carli CERNistä ja ATLAS-kokeesta. FM Pekka Kaitaniemi jatkoi kaskadimallin kehittämistä yhteistyössä Saclayn (CEA) kanssa. Koodi sisällytettiin GEANT4:n versioon 9.5 vuonna 2011. Heikkinen siirtyi IT-alalle v. 2010 ja Kaitaniemi v. 2012.

Software and Physics -projekti osallistui myös keskusratailmaisimen linjausalgoritmien kehittämiseen (Veikko Karimäki, Tapio Lampén, Aatos Heikkinen ja Tomas Lindén). HIPin vastuulla oli ilmaisinmodulien paikan ja orientaation tarkka määrääminen käyttämällä ratailmaisimissa mitattuja suoriksi tiedettyjä hiukkasratoja. HIPin ryhmä kehitti Veikko Karimäen johdolla uuden, yksinkertaisen linjausmenetelmän (Hits and Impacts Positioning), joka esiteltiin CHEP-konferenssissa 2003 (La Jolla, Kalifornia).

Software and Physics ryhmä kehitti edelleen menetelmiä keskusratailmaisimen materiaalissa tapahtuneiden elektronikonversioiden käsittelyyn sekä algoritmeja elektronien ja fotonien isolaation mittaamista varten. Fysiikan analyysissä keskityttiin tutkimaan Minimal Supersymmetric mallin (MSSM) Higgsin bosonien hajoamisprosessien mittausta CMS-koeasemassa. Erityisesti tau-leptonikanavat ja niiden liipaisualgoritmit olivat ryhmän vastuulla. Sähkömagneettisen kalorimetrin ja ratailmaisimien antaman informaation yhdistämisen avulla voitiin laatia tehokas liipaisualgoritmi High Level Trigger -vaihetta varten. Aiheesta syntyi Sami Lehden väitöskirja ”Prospects for the Detection of Neutral MSSM Higgs Bosons Decaying into Tau Leptons in The CMS Detector”. Lehti väitteli 24.11.2001 HY:n Fysiikan laitoksella vastaväittäjänään Ph.D. Fabiola Gianotti CERNistä. Väitöskirja sijoittui kärkeen CMS-kollaboraation väitöskirjakilpailussa v. 2002. Lehti toimi Suomen Akatemian tutkijatohtorina 2002–2004 CMS-projektissa. Fabiola Gianotti

valittiin 2009 ATLAS-kokeen puhenaiseksi ja CERNin pääjohtajaksi viisivuotiskaudelle v. 2016.

Välitavoitteen ”CMS Physics Technical Report” -vaihetta varten CMS-kollaboraatio teki v. 2003 laajan simulaatiotutkimuksen CMS:n potentiaalista löytää Higgsin bosoni. Tutkimus käsitti kaikki tärkeimmät hajoamiskanavat sekä standardimallin että MSSM:n Higgsin bosoneille. HIPin fysiikan ryhmän vastuulle annettiin tutkimuksen organisointi ja jo tehtyjen tutkimusten päivittäminen koeaseman viimeisintä suunnitelmaa vastaaviksi. Tutkimukset osoittivat, että 150-500 GeV:n massa-alueella standardimallin Higgsin bosonin oli löydettävissä 10 fb-1:n integroidulla luminositeetilla, joka suunnitelmien mukaan voitaisiin saavuttaa ensimmäisen vuoden ajojen aikana.

HIPin CMS-ohjelma järjesti Kumpulan kampuksella 30.5.–1.6. 2002 työkokouksen ”Workshop on b/tau Physics at the LHC ”. Kokoukseen osallistui n. 80 tutkijaa CMS- ja ATLAS - kollaboraatioista. Ohjelma koostui B- ja tau -hiukkasten mittaamiseen liittyvistä tutkimuksista LHC-kokeissa. Myös CMS-koeaseman linjaus kuului kokouksen ohjelmaan. Mukana oli myös kaksi yleisesitelmää, Dr. Roy Aleksan (Saclay) raportoi Stanfordin hiukkastutkimuskeskuksessa Kaliforniassa käynnissä olleen BABAR-kokeen tuloksista ja Dr. Hannu Kurki-Suonio (HIP, FL) kosmologian uusista tuloksista.

11.3. CERNin DataGrid-projekti ja Suomen liittyminen mukaan

LHC-kokeiden tavoitteeksi oli asetettu 40 miljoonan protonirihman törmäyksen rekisteröinti sekunnissa – nopeus, joka arvioitiin tarvittavan LHC-projektin fysiikan tutkimustavoitteiden saavuttamiseksi kohtuullisessa ajassa. Tämä merkitsi valtavaa datamäärää analysoitavaksi, odotettavissa oli petatavuja dataa vuodessa. Tällaisen datamäärän analysointi oli mahdollista vain yhdistämällä riittävän monen suuren tietokonekeskuksen resurssit. Tähän tarvittiin maailmanlaajuisesti hajautettu tietojenkäsittelyjärjestelmä. Asiaa käsiteltiin CERNissä v. 1999 aikana kaikkien neljän hyväksytyn LHC-kokeen yhteistyönä. Ratkaisuksi päätettiin ottaa neliportainen hierarkkinen malli (Multi-tier hierarchial model). Malli oli toteutettavissa kehitteillä olleella DataGrid-teknologialla, jota myös Euroopan Unioni oli lähtenyt tukemaan. CERN teki sopimuksen EU:n kanssa Grid-teknologian kehittämisestä tieteelliseen käyttöön, aluksi hiukkasfysiikan tutkimuksessa, maapallon satelliittikuvauksessa ja biolääketieteen sovellutuksissa. Sopimukseen liittyi 21 partneria ja EU osoitti hankkeeseen 10 milj. Euroa, etupäässä tutkijoiden palkkaamiseen. CERNissä DataGrid-projekti käynnistettiin vuoden 2000 tammikuussa ja HIP liittyi siihen alusta alkaen. Ensimmäisiin Grid-työkokouksiin CERNissä tammikuussa v. 2000 osallistuivat Veikko Karimäki ja Jorma

Suomalaisten järjestäytyminen CERNin GRID-hankkeessa

Maaliskuussa v. 2000 olimme DataGrid-yhteistyössä CERNin kanssa jo niin pitkällä, että suunnittelimme yhdessä CERNin Computing-osaston kanssa EU-anomukseen tulevaa Suomen osuutta. Esillä olivat tuolloin Veikko Karimäen ja Matti Heikkurisen liittäminen mukaan EU-hakemukseen. Asiaa hoidettiin HIPin koordinoimana. Suomesta tuli kuitenkin huhtikuun alussa toinen yhteydenotto CERNiin DataGrid-asiassa. Risto Orava oli käynnistänyt oman hankkeen, johon kuuluivat HIP, Helsingin yliopisto sekä Vantaan, Mikkelin ja Rovaniemen ammattikorkeakoulut. Yhteydenoton oli allekirjoittanut M.Sc. Oleg Bouyanov Espoon-Vantaan teknillisestä ammattikorkeakoulusta (EVTEK). HIPin johtoa ei hankkeesta ollut informoitu. Yhteydenotossa ilmoitettiin, että Suomen CERN-delegaatio (Jorma Hattula) ottaisi yleisvastuun hankkeesta Suomessa. Kaksi erillistä aloitetta Suomesta herätti hämmennystä CERNissä ja tarvittiin HIPin johtajan yhteydenotto CERNissä Grid-hanketta koordinoivaan Dr. Fabrizio Gagliardiin, jotta hanke saataisiin raiteilleen. Kuitenkin vielä 19.4. CERNissä pitämässämme palaverissa Bouyanov piti kiinni siitä, että Jorma Hattula oli määrännyt Risto Oravan Suomen DataGrid-hankkeen johtajaksi ja hänet hankkeen koordinaattoriksi. Otin siltä istumalta kännykkäpuhelun Jorma Hattulalle. Tavoitin hänet kokouksesta Bratislavassa. Hattula oli vähän hämillään ja totesi, että hän oli tarjonnut Akatemian apua, jos sitä tarvittiin. Kun ilmoitin, että HIP jo koordinoi hanketta, Hattula totesi, ettei hänellä ollut mitään sitä vastaan ja että asia on siis kunnossa. Soitin sitten HIPin hallintopäällikölle Mikko Sainiolle ja pyysin häntä selvittämään asian muodollisesti Suomen Akatemian kanssa. Sainio hoiti homman ja asia oli sitten sillä selvä.

Tuominiemi CMS-ohjelmasta sekä Ari-Pekka Hameri ja Matti Heikkurinen Teknologiaohjelmasta.

Otimme heti yhteistyön alussa yhteyttä Suomen tieteellisen laskennan keskukseen (CSC), jonka halusimme mukaan. CSC:n johtokunta päättikin liittyä CERNin DataGrid-hankkeeseen ja asetti yhteyshenkilöksi EU-koordinaattorinsa FM Anna-Maija Kärkkäisen. Hankkeen koordinointi Suomessa takkuili aluksi, mutta pienten hallinnollisten kiemuroitten päätteeksi HIP otti huhtikuun alussa CERN-mandaattinsa mukaisesti vastuun käsiinsä ja ryhtyi CERNin DataGrid-toiminnan koordinaattoriksi Suomessa. Toiminta sijoitettiin Teknologiaohjelmaan ja HIPin Grid-koordinaattoriksi nimettiin ohjelman johtaja, professori Ari-Pekka Hameri. HIP ja CSC liittyivät EU-hankkeeseen ”funded partner” -yksikköinä. Anna-Maija Kärkkäinen ja CSC:n tieteellinen johtaja Kari Laasonen kävivät CERNissä 16.-18.4. 2000 tutustumassa DataGrid-projektiin, jolloin samalla sovittiin, miten asiassa edetään.

Suomen CMS-projektin kannalta oli tärkeää, että CSC tuli alusta alkaen mukaan CERNin DataGrid-hankkeeseen. CMS:n data-analyysiä varten tarvittiin Suomessa CMS-laskennan Tier 2-tason paikalliskeskus. Suomessa tarvittavan keskuksen rakentaminen näytti realistiselta vain CSC:n tuella. CSC:llä oli hyvä maine EU:ssa ja myös CERN oli kiinnostunut saamaan sen mukaan

DataGrid-projektiin. CERNin laskentapuolen johtaja Dr. Hans Hoffmann ja Dr. Fabrizio Gagliardi tarkistivat kanssamme varta vasten, että CSC tulisi olemaan mukana.

Asiakirjat EU:n rahoituksesta saatiin valmiiksi toukokuun alussa. EU-rahoitus oli yhteensä 36 henkilökuukautta HIPille ja CSC:lle. Hakemuksen allekirjoitus oli lopulta EU-sääntöjen vuoksi tehtävä Helsingin yliopiston mandaatilla, ja vararehtori Ilkka Niiniluoto hoiti sen. HIPissä CMS Physics and Software -projekti aloitti GRID-työkalujen sisällyttämisen törmäystapahtumien simulointiin ja fysiikan analyysiin. Teknologia-ohjelman DataGrid-projekti puolestaan lähti kehittämään yleisiä GRID-työkaluja keskittyen paljolti verkkoturvallisuusasioihin.

12. HIP 2001–2003

12.1. HIPin toiminta vakiintuu, painopiste LHC-fysiikkaan

Tutkimusrahoituksen osalta HIP koki vuonna 2000 ikävän takaiskun. OPM leikkasi tukeaan ja budjetti vuodelle 2001 pieneni 22, 2 milj. markasta 19,1 milj. markkaan. HIPin johtokunta päätti osoittaa tämän vähennyksen Hiukkasfysiikan ohjelmaan ja Teknologia-ohjelmaan, joille budjetoitiin 2,3 ja 2,7 milj. mk. LHC-ohjelman budjetti pidettiin entisellä, 4 milj. markan tasolla. HIPin johtajan tehtävät juuri vastaanottaneella professori Dan-Olof Riskalla oli epämieluisa tehtävä raportoida vastoinkäymisestä saman tien HIPin uudelle tieteelliselle neuvottelukunnalle.

Vuoden 2001 toimintasuunnitelmassa HIPin ohjelmarakenne pidettiin entisellään. Hiukkasfysiikan ohjelman uutena tutkimusprojektina käynnistyi Risto Oravan johdolla etusuunnan fysiikan projekti, johon siirrettiin aiemmin käynnistetty MSGC/GEM-kehitystoiminta. Uutta projektia tuki Suurenergiaohjelman osana oleva Ilmaisinlaboratorio. Elektroni-positronifysiikan projekti keskittyi DELPHI-kokeen tulosten fysiikan analyysin viimeistelyyn (viimeiset kokeet LEP-törmäyttimellä tehtiin marraskuussa 2000) sekä tulevaisuuden lineaarikiihdytinkokeiden simulointiin. LHC-ohjelmassa jatkoivat Ohjelmointi ja fysiikan analyysiprojekti ja Keskusratailmaisinprojekti (Tracker-projekti). Kolmantena ohjelmaan kuului vielä Ydinaineen projekti, josta oltiin suunnittelemassa uutta tutkimusohjelmaa HIPille.

Tutkimusohjelmien johtorakenteeseen tuli vuoden 2001 alussa muutoksia. Hiukkasfysiikan ohjelmassa todettiin v. 2000 syksyllä CERNin Team-tilien käytössä epäselvyyksiä. CERNin Team-tilit ovat CERN-yhteistyöhön osallistuvien instituuttien CERNissä avaamia tilejä, joilta tutkimusryhmät voivat hoitaa kokeitten rakennustöiden kustannuksia ensin suoraan. CERN hallinnoi tilejä ja laskuttaa niiden käytöstä instituutteja, jotka ovat niitä avanneet. Hiukkasfysiikan ohjelma oli avannut Suomen Akatemian myöntämien määrärahojen käyttöä varten Team-tilin ilman Akatemian lupaa ja HIPin ohjeita.

Helsingin yliopiston kvestuuri käynnisti HIPin ja Suomen Akatemian pyynnöstä Hiukkasfysiikanohjelman Team-tileistä tarkastuksen. Tämä johti siihen, että HIPin johtokunta vapautti professori Risto Oravan ohjelmanjohtajan tehtävistä Helsingin yliopiston tekemän tilien tutkinnan ajaksi. Väliaikaiseksi johtajaksi nimitettiin professori Heimo Saarikko. Tutkinnan tulokset valmistuivat toukokuussa 2001 ja ne olivat siinä määrin raskauttavia, että johtokunta päätti jatkaa professori Heimo Saarikon nimitystä Hiukkasfysiikan ohjelman johtajana vuoden loppuun.

SAB vieraili Helsingissä seuraavan kerran 21.5.2001. Se oli saanut käyttöönsä juuri tehdyn Suomen Akatemian asettaman evaluaatiotyöryhmän Suomen CERN-toiminnasta tekemän raportin. Neuvottelukunta piti raporttia hyvin laadittuna ja asettui kannattamaan siinä esitettyjä suosituksia (kts. jäljempänä). SAB katsoi LHC-ohjelman HIPin pääaktiviteetiksi kokeellisella puolella. SAB ilmaisi huolensa HIPin budjettileikkauksen vaikutuksista LHC-

ohjelman toimintaan ja suositteli niiden ratkaisemiksi sisäisiä resurssijärjestelyjä. ALICE-projektin osalta SAB painotti, että sen johtoon tarvittiin pikimmiten seniori hiukkasfyysikko, joka ottaisi vastuulleen tutkimusohjelman suunnittelun. Erityisesti professorit Specht ja Wagner arvostelivat tiukasti, ettei projektissa ollut vielä fysiikan analyysiin liittyvää toimintaa. Professori Specht johti tuolloin itse raskasionikoetta SPS:llä (CERES-koe) ja oli hyvin perillä ALICE-suunnitelmista. TKK-vetoinen COMPASS-projekti sai kiitosta detektorikontribuutioista. Projektissa työskenteli projektipäällikkö dos. Peter Berglundin lisäksi DI Jaakko Koivuniemi TKK:lta. Hiukkasfysiikan ohjelman etusuunnan fysiikan projektille SAB suositteli kansainvälistä arviointia. Kokonaisarviona SAB katsoi HIPin olevan hyvässä mallissa siirryttäessä hyödyntämään uusia tiloja ja infrastruktuuria Kumpulan kampuksella.

HIPin statuksen muuttaminen ja kolmen yliopiston yhteisen tutkimuslaitoksen perustaminen toteutettiin lopulta muodollisesti v. 2002 alusta lähtien. Suomen hallitus kumosi vuonna 1996 annetun asetuksen fysiikan tutkimuslaitoksen hallinnosta 17.10.2001. Helsingin yliopisto, Jyväskylän yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu allekirjoittivat yhteistyösopimuksen, joka korvasi kumotun asetuksen v. 2002 alusta lähtien. Yliopistot nimesivät HIPin johtokuntaan vararehtorinsa, Helsingin yliopisto kaksi ja muut yhden lisäedustajan sekä HIPin henkilökunta yhden edustajan, yhteensä kahdeksan jäsentä.

Kokouksessaan 21.11.2001 HIPin johtokunta päätti Ydinaineen ohjelman perustamisesta. Sen ohjelmanjohtajaksi nimitettiin professori Juha Äystö. Hiukkasfysiikan ohjelmassa johtokunta jatkoi Heimo Saarikon nimitystä ohjelmanjohtajaksi ajalle 1.1.2002–21.12.2004. LHC-ohjelman johtajaksi määrättiin Jorma Tuominiemi 1.1. 2002–31.12.2004 ja Ari-Pekka Hameri Teknologiaohjelman johtajaksi 1.1.2002–31.12. 2004. Myös projektipäälliköt nimitettiin ajalle 1.1.2002–31.12.2004. LHC-etusuuntaprojektin projektipäälliköksi tuli Risto Orava, Elektronifysiikan projektin päälliköksi Kenneth Österberg, COMPASS-projektin päälliköksi dos. Peter Berglund (TKK), CMS-jälki-ilmaisin -projektin päälliköksi TkL Eija Tuominen, Ohjelmistot ja fysiikka -projektin päälliköksi dos. Veikko Karimäki, ALICE-projektin päälliköksi dos. Wladyslaw Trzaska (Jyväskylän yliopisto) ja ISOLDE-projektin päälliköksi dos. Ari Jokinen (Jyväskylän yliopisto).

HIPin kokonaisbudjetti v. 2002 oli 20 milj. FIM ja hiukkasfysiikan ohjelmien määrärahat seuraavat:

Hiukkasfysiikan ohjelma	2,55 milj. FIM
LHC-ohjelma	5,4 milj. FIM
Ydinaineen ohjelma	1,2 milj. FIM

HIPin johtaja Dan-Olof Riska ja valmisteluryhmä olivat tässä vaiheessa todenneet, että osallistuminen CERNin CMS-projektiin oli Suomen pääprojekti LHC:llä. Koska resursseja ATLAS-projektiin ei ollut, johtaja Riska esitti

siitä eroamista. Asiasta neuvoteltiin ATLAS-kollaboraation johdon kanssa ja 5.2.2002 johtokunta päätti, että HIP eroaa ATLAS-kollaboraatiosta 30.6. 2003. Kun vuoden alusta oli perustettu oma ohjelma ydinaineen tutkimusta varten, päätettiin samalla muuttaa LHC-ohjelman nimi CMS-ohjelmaksi.

12.2. Suomen Akatemian järjestämä Suomen CERN-toiminnan evaluointi 2001

Suomen Akatemian hallitus päätti v. 2000 marraskuussa, että Suomen CERN-yhteistyöstä oli tehtävä arviointi. Evaluaatiotehtävä annettiin Luonnontieteiden ja tekniikan toimikunnan järjestettäväksi. Toimikunta kutsui arviointipaneelin puheenjohtajaksi professori Peter Paulin Brookhavenin kansallisesta laboratoriosta ja jäseniksi varatoimitusjohtaja Kari-Pekka Estolan Nokian tutkimuskeskuksesta, toimitusjohtaja Pauli Juutin Helsoft Oyj:stä sekä professori Sven Kullanderin Uppsalan yliopistosta. Akatemian tiedeasiantuntija Eeva Ikonen ja professori Jukka Maalampi määrättiin sihteereiksi ja evaluaation koordinaattoreiksi.

Paneeli teki perusteellista työtä ja jätti raporttinsa Suomen Akatemialle 15.5.2001. Raportti sisälsi lukuisia huolellisesti perusteltuja havaintoja ja suosituksia Suomen CERN-toiminnan kehittämiseksi. Arviointi oli kokonaisuudessaan hyvin positiivinen. Paneeli totesi, että Suomen osallistumisen CERNin toimintaan oli menestyksellistä sekä tieteellisesti että teknologiahankkeissa. CERN-yhteistyö oli tärkeää Suomelle Euroopan tieteellisen tutkimuksen ja teknologisen kehitystyön osana. Toimintaa oli syytä jatkaa tasolla, joka optimoi Suomen saaman palautteen jäsenmaksulleen. HIPin asemaa paneeli piti tärkeänä Suomen CERN-toiminnan koordinoinnissa. HIPin rahoituskuvion paneeli katsoi kuitenkin liian hajanaiseksi ja suositteli budjetin siirtämistä yliopistoilta kokonaan OPM:n hallintaan. Lisäksi paneeli piti HIPin missiota puutteellisesti määriteltynä ja suositteli Suomen hallitukselle sen täsmentämistä. HIPin tutkimusohjelmat ja sen tutkimusprojektit saivat hyvät arvosanat toiminnastaan. ALICE-projektille paneeli kuitenkin kaipasi paremmin määriteltyä missiota ja riittävien resurssien osoittamista.

Tämänkin arvioinnin eräs kritiikin kohta koski kokeellisen hiukkasfysiikan professuurien vähyyttä verrattuna esimerkiksi Ruotsiin. Edelleen paneeli painotti hyvin varustetun, kriittisen massan ylittävän ilmaisinlaboratorion tärkeyttä, kuten aikaisemmissakin arvioinneissa oli esitetty. Alan tutkimuksen jatkuvuuden varmistamiseksi arviointipaneeli suositteli postdoc-paikkojen luomista Suomessa niin, että paikat auttaisivat nuoria väitelleitä tutkijoita jatkamaan uraansa kotimaassa ja profiloitumaan siellä akateemisiin tehtäviin.

Akatemian järjestämän arvioinnin raportti oli näkyvästi julkistettu dokumentti, joka viitoitti tietä Suomen CERN-yhteistyön ja kokeellisen hiuk-

kasfysiikan tutkimuksen edelleen kehittämiselle. Suomen Akatemia asetti v. 2001 lopussa työryhmän, jonka tehtävänä oli laatia päivitetty ehdotus kansalliseksi CERN-strategiaksi. Strategian tavoitteiksi tuli tehostaa Suomen CERN-jäsenyyden hyödyntämistä tutkimuksessa, tutkijankoulutuksessa sekä CERNin ja suomalaisen teollisuuden välisessä yhteistyössä.

Työryhmän puheenjohtajaksi nimitettiin professori Riitta Keiski Suomen Akatemian hallituksesta, varapuheenjohtajaksi neuvotteleva virkamies Mirja Arajärvi opetusministeriöstä ja jäseniksi professori Rauno Julin Jyväskylän yliopistosta, tutkimusjohtaja Anneli Pauli Suomen Akatemiasta, johtaja Petri Peltonen Tekesistä sekä tietohallintopäällikkö Pekka Sinkkilä liikenne- ja viestintäministeriöstä. Työryhmän asiantuntijoina toimivat Suomen CERN-delegaatit professori Jorma Hattula ja akatemiaprofessori Risto Nieminen, johtaja Timo Kekkonen KTM:sta, HIPin johtaja Dan-Olof Riska HIPistä sekä tiedesihteeri Pentti Pulkkinen Suomen Akatemian hallintovirastosta. Työryhmän sihteeriksi nimitettiin hallintopäällikkö Mikko Sainio HIPistä.

Neuvottelukuntaa asetettaessa Opetusministeriö ilmoitti, että se piti edelleen HIPin tehtävänä koordinoida Suomen tieteellistä yhteistyötä CERNin kanssa sekä osallistumista muuhun kansainväliseen yhteistyöhön, kuten v. 1996 annetussa määräyksessä on säädetty. Ministeriö sitoutui osoittamaan HIPin näihin tehtäviin tarvittavat määrärahat, joista tuli päättää sen ja Helsingin yliopiston välisissä tulosneuvotteluissa.

Työryhmän hiukkasfysiikan ja subatomaarisen fysiikan tutkimusta koskevat suositukset olivat seuraavat:

- HIPin CERNiin liittyvää perustutkimusta kehitetään monipuolisena, kokeellisen subatomaarisen fysiikan eri osa-alueita kattavana toimintana. Siihen osallistuvat yliopistot vahvistavat kokeellisen fysiikan tutkimuspanostaan.
- Ennen LHC:n tutkimuskäytön alkamista suomalaiset tutkijat osallistuvat mahdollisimman laajasti muihin kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimushankkeisiin.
- Kokeellisen ja teoreettisen hiukkasfysiikan tutkimuksen yhteistyötä vahvistetaan.
- HIP ja sen jäsenyliopistot ylläpitävät yhdessä vahvaa kokeellisen suurenergiafysiikan infrastruktuuria Suomessa (esim. ilmaisinlaboratorio)
- Suomen hiukkasfysiikan tutkimukselle on eduksi, jos LHC:n jälkeen mahdollisesti rakennettava lineaarikiihdytin sijoitetaan Eurooppaan. Suomalaisten kansainvälisen tiedepolitiikan vaikuttajien oli otettava tehtäväksi tulevan lineaaritörmäyttimen eurooppalaisen sijoitusvaihtoehdon puolesta.

12.3. Etusuunnan fysiikan projektin arviointi ja HIPin osallistuminen Fermilabin kokeeseen 2001–2009

SAB oli raportissaan 21.5.2001 suositellut Hiukkasfysiikan ohjelman etusuunnan fysiikan projektia arvioitavaksi. Risto Orava laati tätä varten alustavan projektiesityksen toukokuussa 2001. Suunnitelmassa oli kaksi osaa. Aluksi osallistuttaisiin Fermilabin CDF-kokeen etusuunnan fysiikan ohjelmaan, joka edesauttaisi suunnitelmien tekoa LHC-kokeissa tehtävää etusuunnan fysiikkaa ja tutkijoiden koulutusta varten. Oravan esityksessä suunnitelmana oli etusuunnan ilmaisinsysteemin rakentaminen ATLAS-kokeen yhteyteen.

HIPin johtokunta kutsui lokakuussa 2001 professori John Daytonin (Liverpoolin yliopisto) ja professori Guenther Wolfin (DESY) tekemään arvion esitetystä suunnitelmasta. Arviointia varten Orava oli täydentänyt toukokuussa esittämäänsä esitystä. Arvioijat pitivät projektin tavoitteita haasteellisina ja korostivat, että niiden saavuttaminen edellytti tuntuvaa resurssien lisäystä HIPissä. Kokemuksen hankkiminen etusuunnan fysiikasta ennen LHC:n käynnistymisestä oli arvioijien mielestä suositeltavaa ja he pitivät CDF-kokeeseen liittymistä oikeana ratkaisuna, varsinkin kun liittymiskustannukset näyttivät pienille. Riittävien resurssien saaminen oli kuitenkin tärkeää. Loppusuosituksessaan he esittivät, että ottaen huomioon HIPin rajoitetut resurssit suomalaisen etusuunnan fysiikan ryhmän kannattaisi liittyä TOTEM-projektiin, joka oli jo ehdolla etusuunnan fysiikan projektiksi LHC:llä. TOTEM-koetta suunniteltiin CMS:n yhteyteen. Tällöin voitaisiin myös hyödyntää sitä, että HIP oli jo mukana CMS-kokeessa.

HIPin johtokunta hyväksyi kokouksessaan 4.6.2002 liittymisen Fermilabin CDF-kokeeseen. Osallistumiskustannuksiksi ensimmäisen vuoden aikana sovittiin 30 000 US dollaria. CDF-projektiin liittyivät Oravan lisäksi aluksi professori Heimo Saarikko, yliopistonlehtori Kenneth Österberg, PhD Stefan Tapprogge, PhD Nick Van Remortel ja tohtoriopiskelijana DI Tuula Mäki. Mäki siirtyi Fermin laboratorioon vuosiksi 2004–2007.

CDF-kokeeseen osallistumista jatkettiin uudella sopimuksella 28.10.2006 vuosiksi 2007–2009. Ryhmään kuului nyt neljä tohtoritasoista fyysikkoa, professori Risto Orava, professori Heimo Saarikko, yliopistonlehtori Kenneth Österberg ja PhD Nick Van Remortel. HIPin ryhmä osallistui CDF-koeaseman operointiin, fysiikan analyysiin ja pii-verteksi-ilmaisimen operointiin ja data-analyysiin. Fysiikan analyysissä oli pääaiheena top-kvarkin tutkimus. Projektin vastaavina fyysikkoina toimivat Risto Orava ja Kenneth Österberg. Osallistumiskustannuksiksi kiinnitettiin 7200 USD tohtoritasoista fyysikkoa kohti. V. 2008 valmistui ensimmäinen väitöskirja HIPin CDF-projektista. Tuula Mäki väitteli aiheesta ”Top Quark Mass Measurement” TKK:lla 18.3. 2008, (HIP-2008-01). Vastaväittäjänä toimi Dr. Albert De Roeck (CERN).

Tevatron-kokeet lopetettiin Fermilabissa lokakuussa 2011. Kokeiden tulosten analyysi jatkui vielä tämän jälkeen. HIPin CDF-ryhmässä kokeis-

sa kerätyn datan analyysiin osallistuivat professori Risto Orava, professori Heimo Saarikko, yliopistonlehtori Kenneth Österberg sekä tohtoriopiskelijat Dipl.Phys. Erick Brücken, FM Petteri Mehtälä, FM Timo Aaltonen ja MSc Francesco Devoto. Pääaiheina olivat top-kvarkin massan mittaus, Higgsin hiukkasen etsiminen ja diffraktiiviset prosessit. Erik Brücken sai valmiiksi väitöskirjansa CDFII-kokeesta v. 2013. Hän väitteli aiheesta ”Observation of Central Exclusive Diphoton Production at the Tevatron” 24.5. 2013 Helsingin yliopistossa. Vastaväittäjänä toimi professori Valery Khoze (Durhamin yliopisto). Devoto puolestaan väitteli CDF II-kokeesta 13.11.2013 aiheenaan ”Search for the Higgs Boson in the All-Hadronic Final State using the CDF II Detector”. Vastaväittäjänä toimi Dr. Cristophe Royon (CEA Saclay).

12.4. Vierailuja CERNissä 2001–2003

Opetusministeri Maija Rask kirjoittamassa nimeään CERNin vieraskirjaan. Vieressä CERNin pääjohtaja professori Luciano Maiani. (Kuva CERN)

Suomen CERN-toimintaan kiinnitettiin paljon huomiota tutkimushallinnossa. Opetusministeri Maija Rask vieraili CERNissä 19.2.2001. Hän tapasi CERNin johtoa ja vieraili CMS-kokeen rakennushallilla. Sattumalta samaan aikaan CERNissä oli tiedeleirikoulua viettämässä suomalaisia lukiolaisia ja ministeri Rask tapasi myös heitä lämminhenkisessä tilaisuudessa. CSC:n johtokunta vieraili OPM:n koulutus- ja tiedepolitiikan osaston ylijohtajan Arvo Jäppisen johdolla CERNissä 8.5.2001 tutustumassa CERNin tietojenkäsittelyyn ja DataGrid-projektiin. Delegaatio vieraili myös CMS:n rakennushallilla.

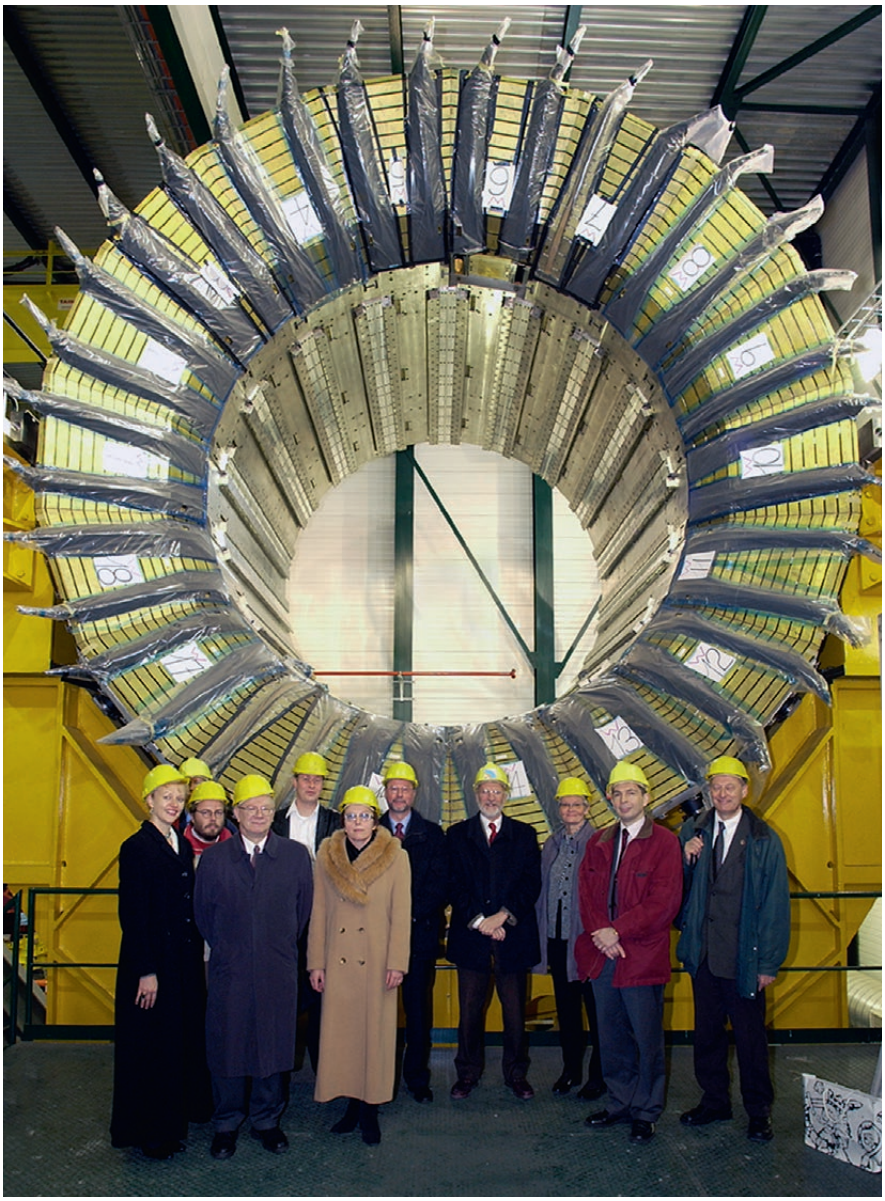
Opetusministeri Rask CMS:n maanpäällisessä rakennushallissa kuuntelemassa CMS-ohjelmanjohtaja Jorma Tuominiemen selostusta suomalaisesta kontribuutiosta CMS-laitteistoon. Vasemmalla edessä CMS-kollaboraation puhemies Michel Della Negra, takana ministerineuvos Pirjo Välinoro (Suomen pysyvästä edustustosta Genevessä) sekä teknikko Juha Säkkinen (CERN). Taustalla CMS-laitteiston magneetin vuonpalauttimen rakennustyömaa. (Kuva CERN)

Suomen Akatemian ja opetusministeriön delegaatio vieraili CERNissä 23.–24.8.2001. Delegaatioon kuuluivat johtaja Mirja Arajärvi (OPM, CERN-asiat), FT Ritva Dammert (Luonnontieteellisen toimikunta), professori Pekka Hautojärvi (TKK ja luonnontieteellinen toimikunta), professori Jorma Hattula (Suomen Akatemia, CERN Council), dos. Anneli Pauli (Suomen Akatemian tutkimusjohtaja) ja FT Pentti Pulkkinen (Suomen Akatemia, tiedesihteeri, CERN Council). Vierailijat kävivät tutustumassa CMS-kokeen rakennustöihin sekä LHC-kiihdyttimien magneettien testaamiseen.

Helsingin yliopiston rehtori Kari Raivio, Jyväskylän yliopiston rehtori Aino Sallinen ja TKK:n rehtori Paavo Uronen vierailivat CERNissä 3.12.2002. He tutustuivat CMS-laitteiston rakennustöihin P5-koehallilla, ISOLDE-laboratorioon ja tapasivat CERNin pääjohtajan Luciano Maianin.

Rehtori Raivio tiukkana tieteestä

Esittelin CMS-koetta rehtoreille P5-hallilla. Kun aloin kuvailla kokeen rakentamisen yhteydessä syntyviä spin-off -hyötyjä, rehtori Raivio tokaisi: ”Ette kai te tätä sen vuoksi tee?” Sain nopeasti sanotuksi, että joonialainen lumohan meitä tietysti elähdyttää ja lopetin lorut spin-offista. Oli rohkaisevaa todeta, että Helsingin yliopiston rehtorilla oli tiede ja sen merkitys päällimmäisenä agendalla.



HIPin taustayliopistojen rehtorit vierailulla CMS:n rakennushallilla CERNissä 3.12.2002. Kuvassa vasemmalta projektipäällikkö TkT Eija Tuominen (HIP), TkT Mika Huhtinen (CERN), rehtori Paavo Uronen (TKK), TkT Jaakko Härkönen (HIP), rehtori Aino Sallinen (JY), professori Jorma Tuominiemi (HIP), rehtori Kari Raivio (HY), ministerineuvos Anneli Vuorinen (Suomen pysyvä edustusto Genevessä), johtaja Sakari Karjalainen (OPM, Tiedepoliittinen osasto) ja HIPin johtaja professori Dan-Olof Riska (HIP). Taustalla CMS:n hadronikalorimetri odottamassa asennusta CMS-koeasemaan. (Kuva CERN)

Komissaari Erkki Liikanen CMS:n P5-hallilla 21.2.2003. Edessä vasemmalta: Professori J. Tuominiemi, komissaari Liikanen, Dr. Mario Campolargo (Research Infrastructure - yksikön päällikkö), professori Dan-Olof Riska (HIP). (Kuva CERN)

EU-komissaari Erkki Liikanen (Commissioner for Enterprise and Information Society) vieraili CERNissä 21.2.2003. Hän tapasi pääjohtaja Maianin ja vieraili CMS:n P5-hallilla.

Suomen eduskunnan tulevaisuusvaliokunta vieraili CERNissä lyhyesti 27.5.2003 suurlähettiläs Pekka Huhtaniemen ja kansanedustaja Jyrki Kataisen johdolla.

12.5. HIP, SAB ja RECFA Helsingissä 2002

CMS-kokeen rakennuskustannusten arviointi oli rakennustöiden alun jälkeen tuonut esille, että tarvittiin lisämäärärahoja, jotta koelaitteiston valmistumisen määräajassa (tässä vaiheessa v. 2007) voitaisiin varmistaa. Arvioitu lisätarve oli 62,9 MCHF. CMS-kollaboraatio laati tämän lisäkustannuksen kattamiseksi Cost-to-Completion -sopimusdokumentin, jossa ylityksen kattamisesta sovittiin osallistujainstituuttien kesken noudattaen pää-MoU:n jako-osuuksia. Suomen osuutena oli 870 000 CHF (588 000 €). Opetusministeriössä käytyjen keskustelujen tuloksena (Sakari Karjalainen, Mirja Arajärvi, 21.5.2002) OPM päätti kattaa tämän ylityksen myöntämällä lisärahoituksena 150 000 €

vuosittaisen lisämäärärahan vv. 2005–2007 sekä v. 2008 jäljelle jäävän osan Suomen osuudesta. Myös Sveitsin frangin kurssin muutos MoU-sopimusten allekirjoittamisen jälkeen lisäsi kustannuksia. OPM päätti kattaa myös tämän kustannusten kasvun osoittamalla HIPille tarvittavan lisämäärärahan, 376 000 €.

HIPin Tieteellinen neuvottelukunta (SAB) kokoontui v. 2002 CERNissä 3.–4.6. Sen johtokunnalle toimittama lausunto oli jälleen hyvin positiivinen. Myös ALICE-kokeeseen tehty suomalainen laitteistokontribuutio todettiin hyvin korkeatasoiseksi. ALICE-kokeeseen liittyen SAB palasi kuitenkin aikaisempaan kritiikkiinsä fysiikan analyysiin tarvittavan ryhmän puuttumisesta Suomessa ja ehdotti, että asiaa voitaisiin edistää lähettämällä fyysikoita koulutettavaksi RHIC-kokeissa Brookhavenissa tai NA60-kokeessa CERNissä. CMS-ohjelman osalta SAB totesi HIPin saavuttaneen tärkeän ja näkyvän roolin sekä tieteellisessä että teknologisessa toiminnassa. CMS katsottiin nyt HIPin kokeellisen toiminnan kärkihankkeeksi. Osallistuminen Trackerin rakentamiseen oli käynnistetty menestyksellä ja HIPin Cost-to-Completion -osuus oli saatu varmistetuksi. Hiukkasfysiikan ohjelman osana oleva Ilmaisinlaboratorio oli jälleen neuvottelukunnan huomion kohteena. Se piti laboratorion aktiivisena pitämistä tärkeänä ja sen toiminnan vahvistamista säteilynkestävän elektroniikan ja ilmaisimien kehitystyössä oikeana hankkeena. Laboratoriolle oli nyt etsittävä tohtoritasoinen johtaja ja sen tuli olla yhteistyössä ALICE- ja CMS-ohjelmien sekä etusuunnan fysiikan projektin kanssa. COMPASS-kokeesta SAB totesi tyydytyksellä, että projektiin oli saatu fyysikko (FT Kenneth Gustafsson) osallistumaan kokeen fysiikan analyysiin. Hiukkasfysiikan ohjelman etusuunnan fysiikan projekti oli aloitettu menestyksellisesti ja suunnattu CMS-TOTEM-projektin yhteyteen. SAB ehdotti sen rahoituksen sisällyttämistä CMS-ohjelmaan.

SABin vierailun yhteydessä tuli esille, että ohjelmanjohtajista CMS-ohjelman johtajalla ei ollut professorin arvoa. HIPin ohjelmanjohtajia nimitettäessä heiltä oli kuitenkin vaadittu professorin pätevyys. Tilanteen korjaamiseksi HIPin johtokunta teki 11.9.2002 esityksen Helsingin yliopiston rehtorille professorin arvonimen myöntämisestä J. Tuominiemelle hänen toimiessaan ohjelmanjohtajana. Rehtorin päätti asiasta esityksen mukaisesti 23.10.2002.

Vuoden 2003 budjetti hyväksyttiin johtokunnan kokouksessa 25.11.2002. HIPin v. 2003 kokonaisbudjetti oli 3,47 M€. Kokeellisten ohjelmien määrärahat kiinnitettiin seuraavasti:

Hiukkasfysiikan ohjelma	465 000 €
CMS-ohjelma	935 000 €
Ydinaineen ohjelma (ALICE, ISOLDE)	230 000 €

HIPin ja CERNin Computing Grid -projektin ensimmäisen vaiheen välinen yhteistyösopimus (Memorandum of Understanding) allekirjoitettiin 5.12.2002. HIP osallistui projektiin 100 000 € kontribuutiolla 2003–2004. SABin suosituksia seuraten ilmaisinlaboratoriolle etsittiin koordinaattori, joksi nimitettiin FT Markku Oinonen (HIP).

12.6. SAB ja RECFA Helsingissä 2003

Vuoden 2003 SABin kokous, neljäs samalla kokoonpanolla, järjestettiin Helsingissä 2.–3.6.2003. Laatimassaan raportissa neuvottelukunta totesi, että HIPin toiminta oli vakaalla pohjalla ja tutkimusohjelmien toiminta hyvin fokusoitu. Rahoitustilanne näytti stabiililta, mutta mahdollisuuksia toiminnan laajentamiselle ei ollut. SAB suositteli johtaja Riskalle keskipitkän toimintasuunnitelman laatimista, jotta voitaisiin nähdä, minkälaiset resurssit olisivat tarpeen muutaman vuoden tähtäimellä.

Kokeellisen hiukkasfysiikan projekteista SAB totesi DELPHI-kokeen tulevan päätökseen ja TOTEM-projektin päässeen alkuun. SAB suositteli Ilmaisinlaboratorion juuri nimitetylle päällikölle, FT Markku Oinoselle, keskipitkän tähtäimen suunnitelman laatimista. COMPASS-kokeesta todettiin, että TKK oli lopettamassa kokeen polarisoidun kohtion operoinnin tukemisen ja näytti siltä, että HIPilla ei ollut resursseja ottaa siitä vastuuta. SAB piti tarkoituksenmukaisena luopua kokeeseen osallistumisesta. CMS-kokeesta todettiin, että HIPin asema siinä oli edelleen keskeinen ja näkyvä. Kokeeseen osallistuminen tulisi vaatimaan edelleen pitkäaikaista vakaata rahoitusta, mistä HIPin rahoittajaosapuolien oli oltava tietoisia jatkossakin. ISOLDE-kokeisiin osallistumista SAB piti tärkeänä. ALICE-projektissa koeaseman rakentamiseen osallistuminen oli hyvin hallinnassa ja näkyvää. Sen sijaan suppea osallistuminen software-kehitykseen ja fysiikan analyysiin osallistumisen puuttuminen katsottiin edelleen ongelmaksi. SAB otti uudelleen esille v. 2002 raportissa esittämänsä suosituksen kiinnittää pätevä fyysikko ALICE-projektin johtoon. Tämän oli valmisteltava suunnitelma aktiivisesta osallistumisesta suurenergisten raskasionitörmäysten fysiikan analyysiin. Johtokunnan tiedusteluun siitä, miten HIP vertautui muissa CERNin jäsenmaissa toimiviin vastaavanlaisiin instituutteihin, neuvottelukunnan jäsenet arvioivat HIPin kansainvälisesti korkeatasoiseksi. SABin teoreetikkojäsenet pitivät HIPin teoriaohjelmaa jopa parhaana Pohjoismaissa sen laajan tutkimuskentän ja korkean laadun johdosta.

Syyskuussa 2003 ECFA:n johtoryhmä (Restricted ECFA) teki kolmannen maavierailunsa Suomeen. ECFA:n puheenjohtajana toimi nyt professori Brian Foster Oxfordin yliopistosta. Suomen edustajana RECFAssa oli professori Jorma Tuominiemi (1998–2005, sihteeri 2002–2005). Avoin kokous, jossa johtoryhmälle esitettiin suomalaisen suurenergiafysiikan tilannetta,

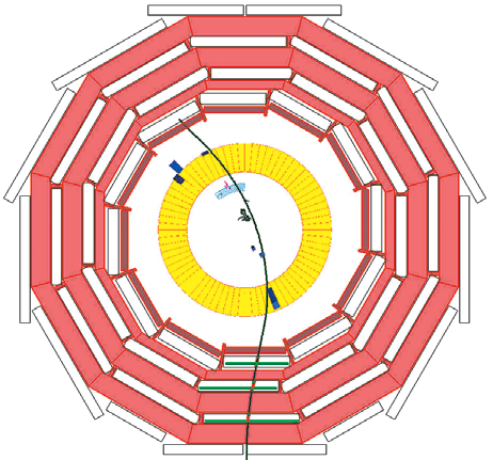
järjestettiin syyskuun 27. päivänä Kumpulan kampuksella Physicumissa. Avauspuheenvuoron käytti Suomen Akatemian tutkimusjohtaja, FT Anneli Pauli. RECFAn kokous pidettiin seuraavana päivänä Helsingin yliopiston päärakennuksessa. Kokouksessa muotoiltiin Opetusministeriölle osoitettu arviointi Suomen hiukkasfysiikan tutkimuksen tilasta. Arviointi oli hyvin positiivinen. RECFAn mielestä tutkimusohjelma oli jopa kunnianhimoinen Suomen kokoiselle maalle. Tutkimusta tekevän yhteisön koko oli kasvanut merkittävästi RECFA:n vuoden 1997 vierailun jälkeen. Tätä oli edesauttanut Suomen Akatemian ja Opetusministeriön vakaa tuki sekä teollisuuspartnereiden kanssa tehty yhteistyö. Tärkeänä tekijänä oli ollut myös HIPin tekemä alan tutkimuksen koordinointi Suomessa. RECFAn mielestä lisätuelle oli vielä tarvetta, jotta Suomi voisi saada täyden hyödyn CERNin jäsenmaksulleen.

Kritiikin kohteitakin löytyi. RECFAn mielestä oli huolehdittava siitä, että alan resursseja Suomessa ei levitetä liian laajalle ja ohuesti. Tämä vaati muun muassa tarkempaa kokeellisten ryhmien yhteistyön organisointia. Huolta herätti myös se, että CMS-projektin toiminta oli keskittynyt paljolti CERNiin, mikä loi vaaran sille, että yhteydet Suomessa työskenteleviin nuoriin tutkijoihin heikentyisivät. Uudet tilat Kumpulan kampuksella nähtiin mahdollisuutena siirtää osaa toiminnasta CERNistä Helsinkiin. RECFA kiinnitti myös huomiota suomalaisten opiskelijoiden keskimääräiseen väittelyikään, joka oli eurooppalaisittain korkea, 33–34 vuotta ja hyvin lähellä CERNin Fellow-paikkojen yläikärajaa. RECFAn mielestä tohtoriksi valmistumista voitaisiin nopeuttaa lisäämällä professorien määrää, jolloin näillä olisi enemmän aikaa opiskelijoiden ohjaukseen. Tästä päästiinkin taas ikuisuusaiheeseen, kokeellisen hiukkasfysiikan professuurien vähyyteen Suomen yliopistoissa. RECFA toivoi taas Suomen hallitukselta pikaisia toimenpiteitä tilanteen korjaamiseksi. Myös alemman tason pitkäaikaisten paikkojen määrä oli RECFA:n mielestä liian pieni. Parhaimmille nuorille oli koetettava järjestää urapolkuja myös Suomessa, jotta ala säilyisi elinvoimaisena ja pystyisi tuottamaan Suomelle uusia teknologisia innovaatioita. Lopuksi komitea totesi olevansa vaikuttunut Suomen hallituksen ja yritysten tieteeseen investoimasta prosenttiosuudesta bruttokansantuotteesta, mitä se piti hyvänä esimerkkinä muille Euroopan maille.

13. HIPin CMS-projektit koeaseman rakennusvaiheessa 2003–2008

13.1. RPC-linkkiprojekti

Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT) liittyi CMS-kollaboraation jäseneksi 19.9.2003. Tuure Tuuva oli siirtynyt LUT:n professoriksi ja perustanut Mikroelektroniikan laboratorioon CMS-ryhmän. Ryhmään kuuluivat FM Kukka Banzuzi, FM Ahti Karjalainen, FM Arja Korpela ja M.Sc. Giovanni Polese. LUT otti vastuulleen Resistive Plate Chambers (RPC) -ilmaisinjärjestelmän linkkikorttien jatkosuunnittelun yhdessä Varsovan yliopiston CMS-ryhmän ja Varsovan Teknillisen yliopiston ryhmien kanssa. Korttien ensimmäiset tuotantoprototyypit toimitettiin CERNiin v. 2005 lopussa. Ne toimivat RPC-liipaisussa vaatimusten mukaisesti ja uusi 25 kortin erä toimitettiin CMS:lle v. 2006 ”Magnet Test and Cosmic Challenge (MTCC)” -kokeita varten. CMS:n suprajohtava magneetti oli saatu asennettua ja sen vuonpalauttimen sisälle oli rakennettu osa CMS:n RPC-ilmaisinjärjestelmää. Systeemiä testattiin kosmisilla myoneilla, joitten mittaus liipaistiin RPC-ilmaisimilla. Testikoe oli menestys, ensimmäiset magneettikentässä kaareutuvat myonien radat saatiin mitattua jo asennetuilla CMS:n myoni-ilmaisimilla.



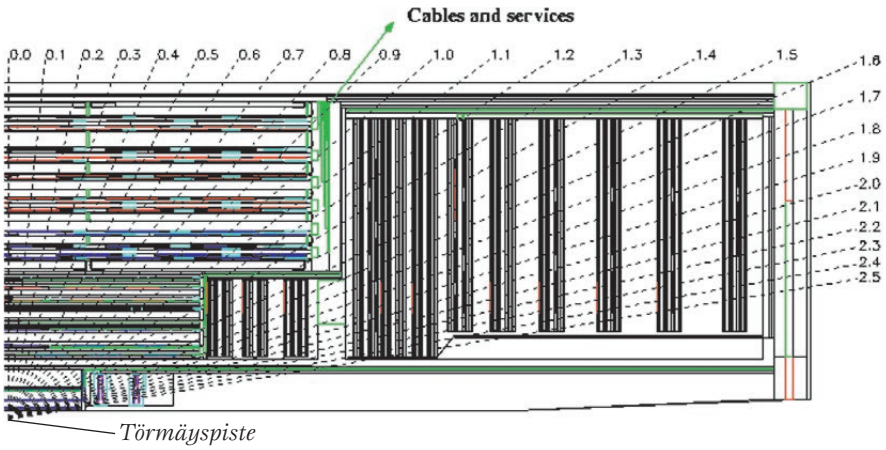
Rekonstruoitu kuva kosmisen myonin radasta MTCC-kokeessa. Keltainen sylinteri kuvaa CMS:n hadronikalorimetria, punaiset osat CMS:n magneetin vuonpalautinta. Vuonpalauttimen alaosaan teräslevyjen väliin on asennettu kolme Drift tube + RPC -ilmaisintasoa. Myoni on ilmaistu RPC-ilmaisimilla. Kosmisen myonin rata on rekonstruoitu käyttämällä myoni-ilmaisimien antamaa mittausta yhdessä hadronikalorimetrin, keskusratailmaisimen ja sähkömagneettisen kalorimetrin modulin antaman datan kanssa. (Kuva CMS)

CMS-toiminta Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa oli laajentunut siinä määrin, että se liittyi HIPin sopimusosapuoleksi 27.9.2006. RPC-ilmaisimilla tehtävän myoniliipaisun linkkikorttien tuotannosta sovittiin keväällä v. 2006 HIPin ja Lappeenrannan yliopiston elektroniikan suunnittelukeskuksen välillä. Tuotanto rahoitettiin HIPin CMS-rakennusbudjetista Memorandum of Understanding -sopimuksen mukaisesti. Rakennusprojektia johti DI Matti Iskanius suunnittelukeskuksesta. Kortteja rakennettiin 1860 kpl ja ne kokosi Electro Hill Oy Lohjalla. Viimeiset kortit toimitettiin CERNiin v. 2007 keväällä. Tämän jälkeen Lappeenrannan ryhmä osallistui RPC-liipaisujärjestelmän ylläpitoon ja operointiin. Projektia jatkettiin 2009–2010 suunnittelemalla ja valmistamalla linkkikortteja myoni-ilmaisimen etuosaan (RE1/1).

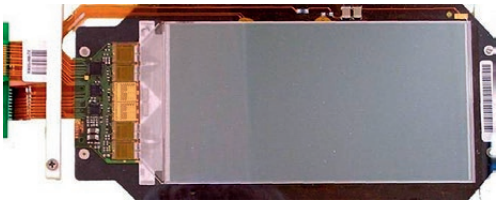
Projektista valmistui kaksi väitöskirjaa. Kukka Banzuzi väitteli aiheesta ”Trigger and Data Link System of CMS Resistive Plate Chambers at the

LHC Accelerator". Se tarkastettiin Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa 28.11.2008. Vastaväittäjänä toimi professori Hannu Heusala Oulun yliopistosta. Giovanni Polesen väitöskirja "The Detector Control Systems for the CMS Resistive Plate Chamber at LHC" tarkastettiin 13.12.2009 Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa. Vastaväittäjänä toimi professori Paula Eerola.

13.2. CMS:n keskusratailmaisimen TOB-osan rakentaminen ja asennus 2005–2008



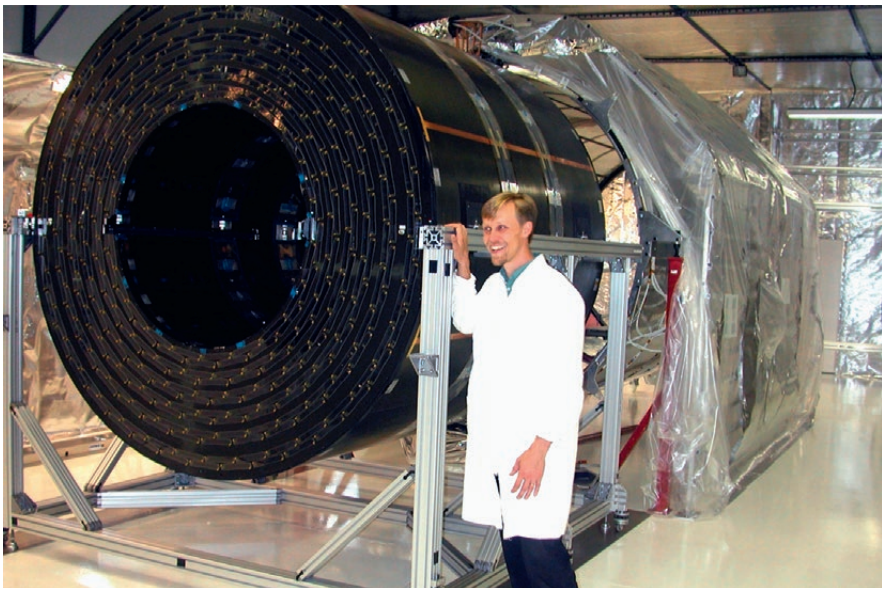
CMS:n Keskusratailmaisimen poikkileikkauksen neljänneksen kaaviokuva, jossa näkyvät TIB (vihreä väritys),TOB (sininen ja punainen väritys), TID (harmaa väritys) ja TEC (harmaa väritys) ilmaisinkerrokset. Numerot ilmaisevat rapiditeettikulmia. (Drawing CMS)



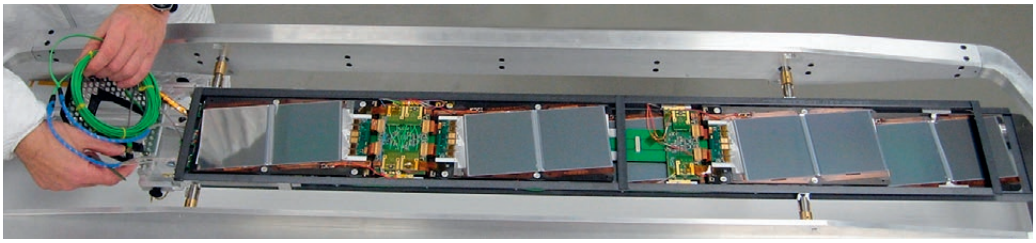
CMS keskusratailmaisimen TOB-osan ilmaisinmoduli. Moduli koostuu pii-ilmaisimesta (harmaa osa), tukirakenteesta sekä lukuelektroniikasta. TOB-osassa on kaikkiaan 15 148 ilmaisinmodulia. (Kuva CMS)

CMS:n Keskusratailmaisimen muodostaa kaksi sylinterimäistä tynnyriosaa Tracker Inner Barrel (TIB) ja Tracker Outer Barrel (TOB) sekä päätyosat Tracker End Cap ± (TID + , TID-, TEC + ja TEC-). Osat koostuvat tukirakenteistaan ja ilmaisinmoduleista. Ilmaisinmodulin muodostavat piinauhasensorit, niiden tukirakenteet ja lukuelektroniikka. Piinauhasensorit tilattiin tarjouskilpailun jälkeen Hamamatsu Photonics -konsernilta Japanista.

TIB- ja TID-ilmaisinmodulit rakennettiin Barin, Firenzen, Padovan, Perugian, Pisan ja Torinon yliopistoissa ja TEC-modulit Aachenin, Brysselin, Karlsruhen, Lyonin, Strasbourgin ja Zürichin yliopistoissa sekä Wienin Suurenergiafysiikan Instituutissa (HEPHY). TOB-modulit valmistettiin



Valmis TOB Wheel -tukirakenne CMS Tracker -laboratoriossa CERNissä 2004. Takana TOBin kiinnitystukirakenne- ja lämpöeristyssylinteri, jonka sisälle TOB sijoitettiin. Kuvassa DI Antti Onnela. (Kuva CERN)



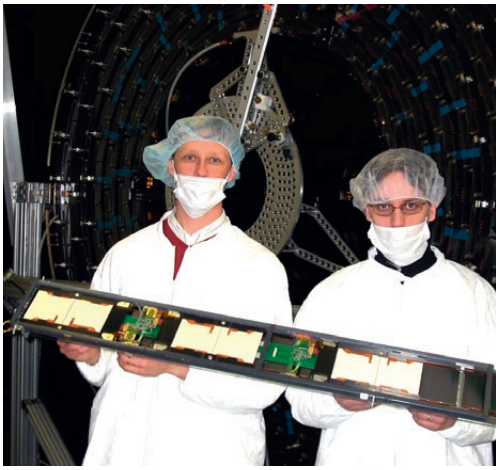
Täysin varustettu CMS:n TOB-ilmaisinkisko. Tässä kiskoon on asennettu kuusi ilmaisinmodulia. Kaksipuolisissa versioissa moduleita on kuusi kiskon molemmilla puolilla. (Kuva CERN)

CERNissä sekä Santa Barbaran yliopistossa ja Fermin laboratoriossa Yhdysvalloissa.

Keskusratailmaisimen TOB-osan tukirakenne toteutettiin CERN-HIP-yhteistyönä Big Wheel-prototyypin mukaisena. Sylinterimäisen tynnyrirakenteen (TOB Wheel) tarjouskilpailun voitti italialainen yritys Plyform Composites Srl. Suomalaisista yrityksistä Patria Finavicomp oli kilpailussa mukana, mutta ei pärjännyt hintakilpailussa. TOB Wheel koottiin CMS:n Tracker-laboratoriossa CERNissä v. 2004 CERNin ja HIPin ryhmän yhteistyönä. CERNin TOB-ryhmää koordinoi PhD Duccio Abbaneo. Koko CMS Tracker -projektin johtajana toimi Gigi Rolandi (CERN) 1994–2004 ja Peter Sharp (RAL) 2005–2011.

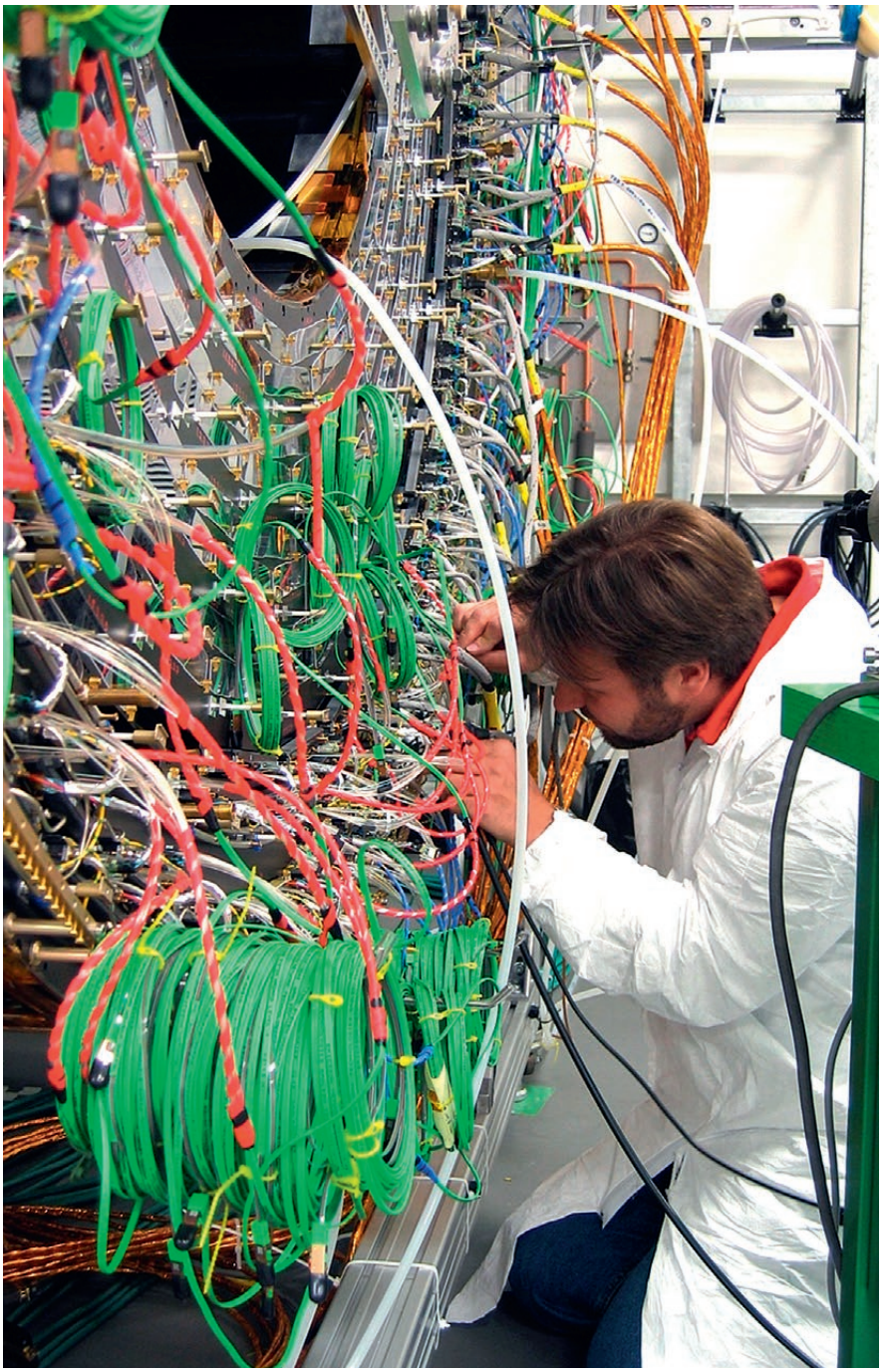
Osa HIPin TOB-asennusryhmästä CMS:n Tracker-laboratoriossa v. 2005. Vasemmalta Auli Kuronen (HIP), Antti Onnela (CERN), Pauli Engström (HIP), Erkki Anttila (CERN) ja Jarmo Kortesmaa (HIP). Kuvassa oikealla ylhäällä näkyy modulikisko asennustyökaluun kiinnitettynä, valmiina työnnettäväksi TOB-Wheelin sisään. (Kuva CERN)

Viimeiset modulien kiinnityskiskot oli toimitettu Helsingistä CERNiin keväällä 2005. CERNissä niihin asennettiin jäähdytysputket ja optiset kaapelit, jonka jälkeen ne toimitettiin Santa Barbaran yliopistoon ja Fermin laboratorioon Yhdysvaltoihin ilmaisinmodulien asentamista varten. Santa Barbarasta ne lennätettiin takaisin CERNiin, jossa niiden toiminta testattiin ennen varastoimista TOB Wheel -rakenteeseen asentamista varten. Valmistusprosessi sujui mutkikkuudestaan ja pitkistä kuljetuksista huolimatta hyvin. Se hyödynsi tehokkaasti HIPin, CERNin, Fermilabin ja Santa Barbaran laboratorion osaamista ja resursseja ja teki mahdolliseksi TOBin rakentamisen aikataulussa.

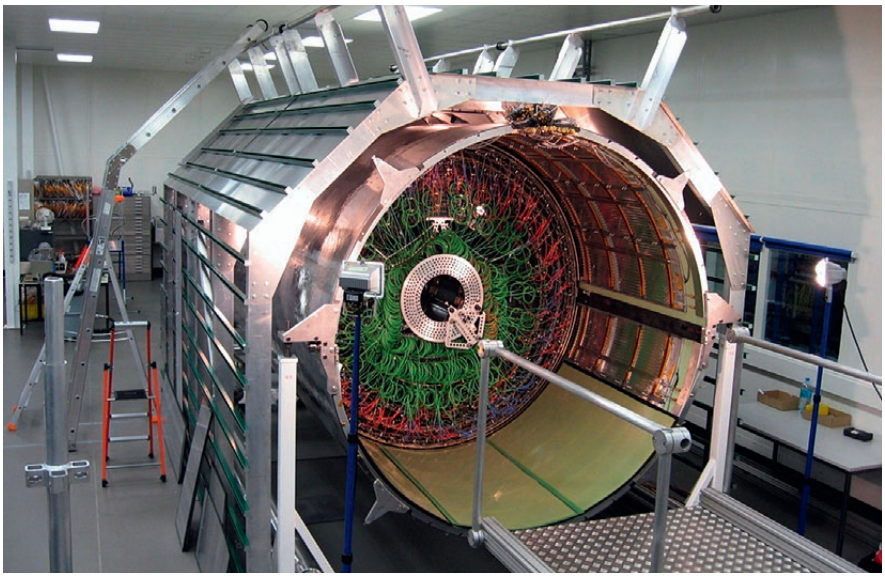


Antti Onnela (CERN) ja Harri Katajisto (HIP) modulikiskojen asennustyössä. (Kuva CERN).

Santa Barbarassa ja Fermin laboratoriossa varustettujen ilmaisinkiskojen integrointi TOB-tukirakenteeseen alkoi CERNissä v. 2005 kesällä. CMS:n Tracker-projekti palkkasi asennustöihin HIPin oman, Helsingissä il-



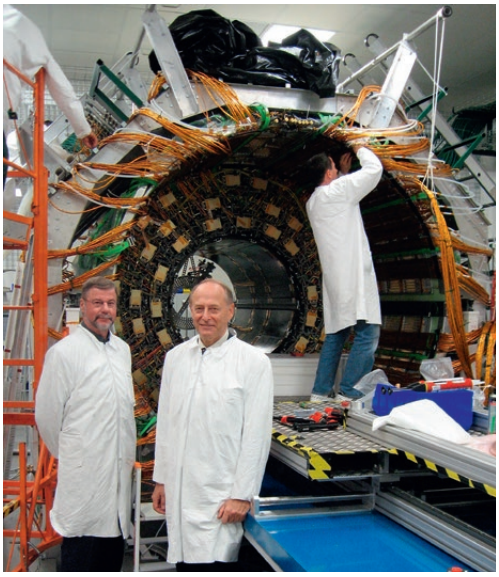
Jarmo Kortesmaa asentamassa TOBin kaapelointia. Kaapelit tuovat signaalit TOBin 1,6 miljoonasta datakanavasta CMS:n datankeruujärjestelmään, jossa kaapeleita on kaikkiaan noin 700 km. (Kuva CMS)



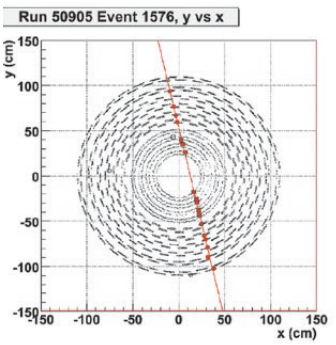
TOB siirrettynä Tracker Integration Facility -tiloihin 2006. TOB on tässä sijoitettu kiinnitystukirakenteeseensa ja lämpöeristyssylinterin sisään. Kuvassa ulommaisin kehikko on asennustöitä varten rakennettu tukirakenne. (Kuva CERN)

maisinkiskot rakentaneen mekaanikkoryhmän. Jarmo Kortesmaa, Auli Kuronen ja Pauli Engström (Fysiikan laitos) siirtyivät CERNiin kesäkuussa 2005. CMS:stä koordinaattorina toimi PhD Duccio Abbaneo. Asennustyöt aloitettiin CMS:n Tracker-laboratoriossa. Tammikuussa 2006 TOB Wheel ja asennus siirrettiin uuteen tilavaan puhdastilaan (Tracker Integration Facility, TIF), joka oli rakennettu CMS:n kalorimetrien kokoamistöiltä v. 2005 vapautuneeseen halliin. Tämä tarjosi paremmat tilat ja tekniset palvelut asennustöille. Integrointi tapahtui kahden vuoron työnä kahden teknikkoteamin voimin, sillä aikataulu oli tiukka, tässä vaiheessa LHC:n käynnistystä suunniteltiin 2007 syksyksi.

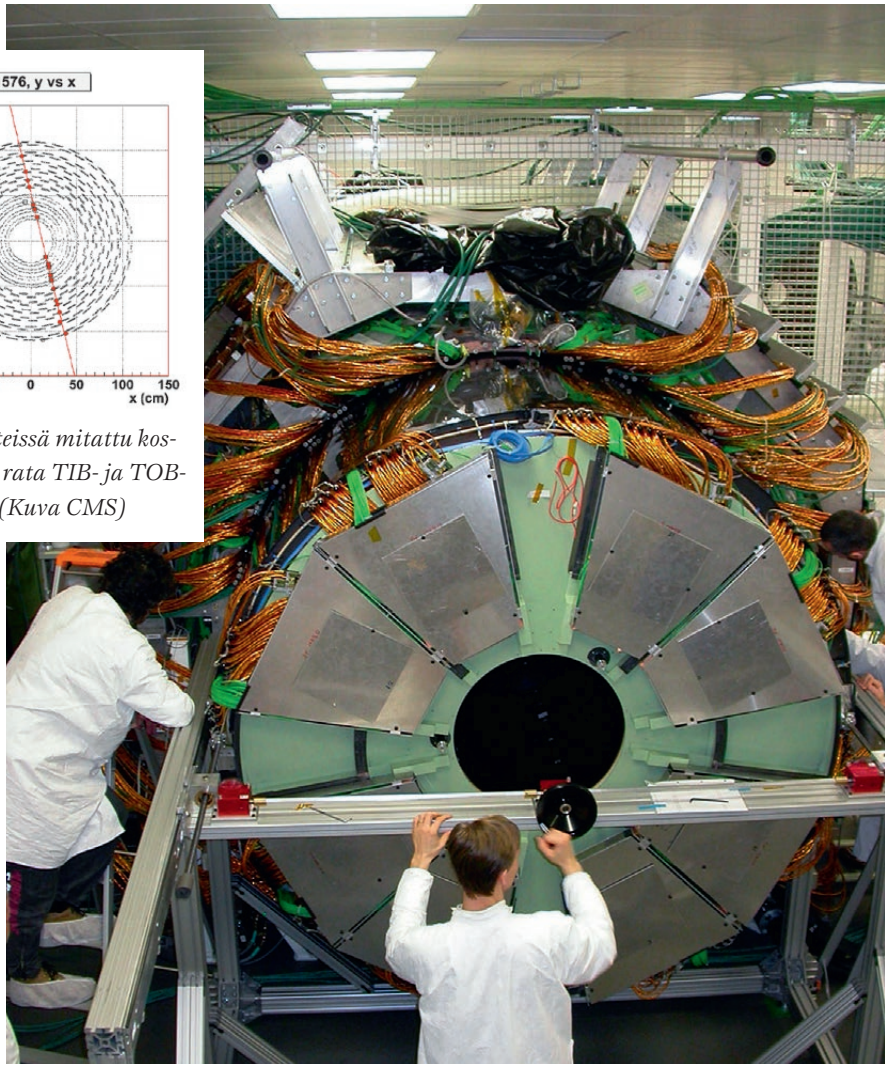
Vuoden 2007 alussa kaikki Keskusratailmaisimen osat olivat valmiina ja ne koottiin yhteen TIF-hallissa. Ilmaisinmoduleista 15 % yhdistettiin jäähdytysjärjestelmään ja testejä varten asennettuihin ra-



HIPin johtaja Dan-Olof Riska (keskellä) tutustumassa TOB-ilmaisimen rakennustöihin TIF-tiloissa marraskuussa 2006. TOB-ilmaisimen puolikas TOB+ on viimeistelyä vaille valmis. (Kuva CERN)



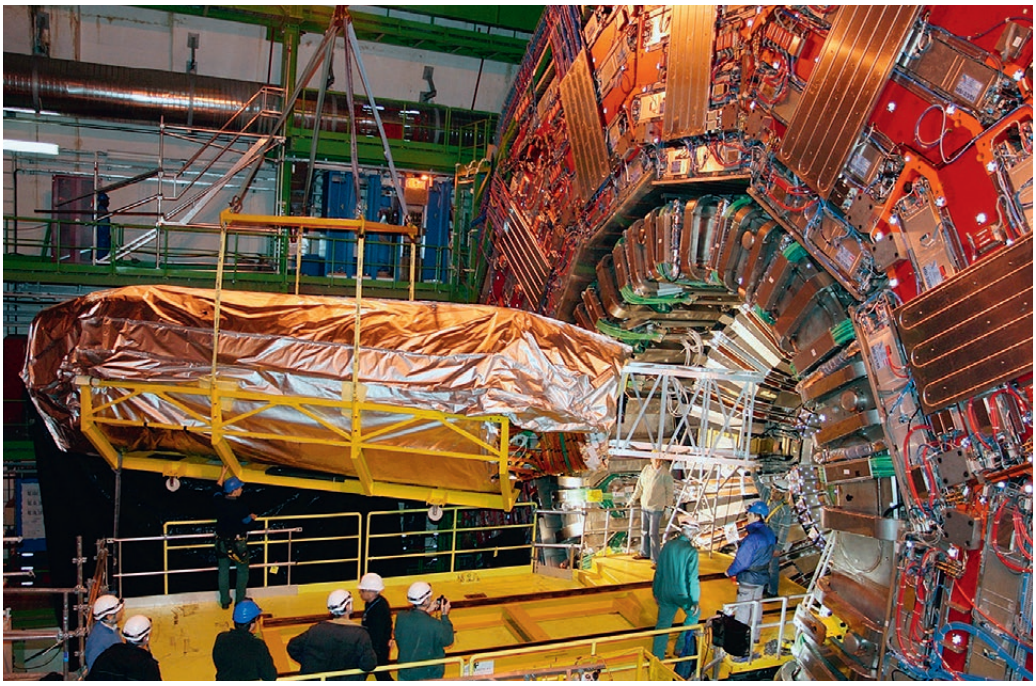
TIF-sektoritesteissä mitattu kosmisen myonin rata TIB- ja TOB-ilmaisimissa. (Kuva CMS)



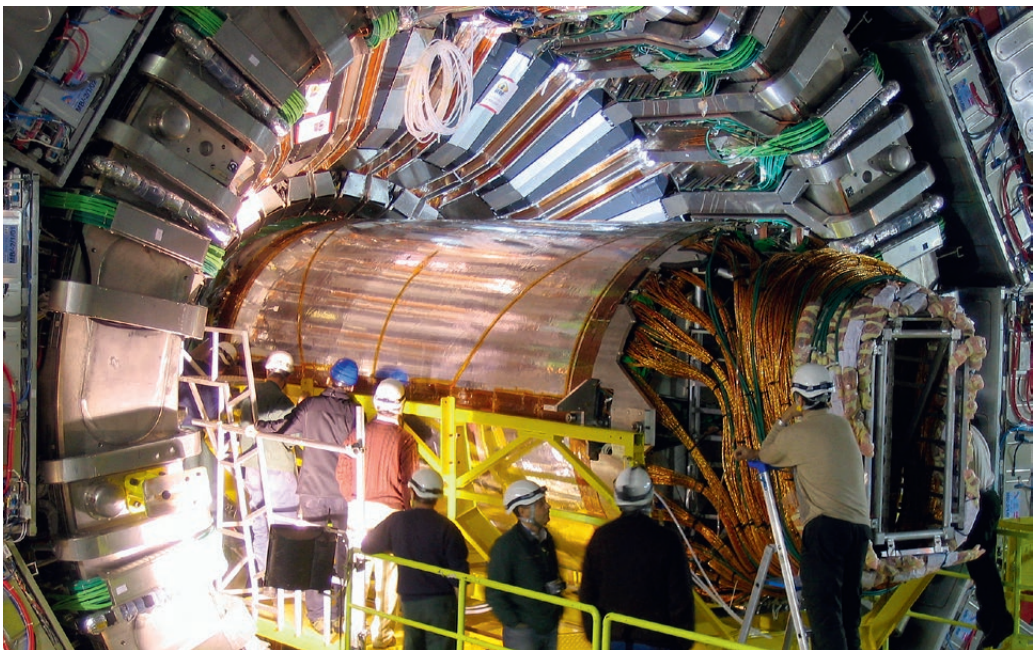
CMS:n Keskusratailmaisin kaapelointeineen valmiina TIF-tilassa syksyllä 2007. (Kuva CERN)

tailmaisimen jännitteenjako- ja datanlukujärjestelmiin. Kesän 2007 aikana ilmaisinta testattiin TIF-tilassa kosmisen säteilyn myoneilla. Testit osoittivat, että ilmaisin toimi suunnitellusti ja sen radanmittaustarkkuus oli tavoitteen mukainen (luokkaa 40 μm). HIPin CMS-ryhmä osallistui testimittauksiin ja saadun datan analysointiin.

Syksyllä 2007 Keskusratailmaisin valmisteltiin LHC:n Point5-luolassa rakenteilla olevalle CMS-koeasemalle siirtoa varten. Joulukuun 13. Ja 14. päivän välisenä yönä se kuljetettiin typpiteltassa P5-hallille ja laskettiin alas CMS-luolaan. Asennus CMS-koeaseman sisään tapahtui 16.12.2007.

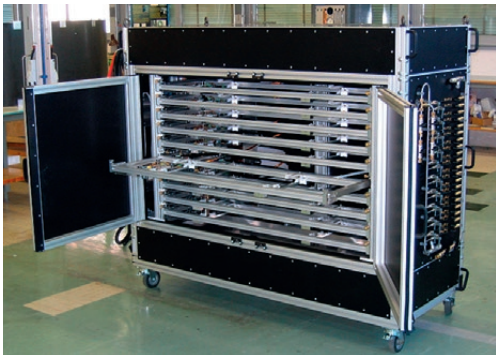


CMS:n Keskusratailmaisinta lasketaan CMS-koeaseman yhteyteen asentamista varten 16.12. 2007. Ilmaisin on kuljetusta varten typpiteltassa. (Kuva CERN)



Keskusratailmaisin asennus koeaseman sisään käynnissä. (Kuva CERN)

13.3. FinnCRack-testipenkin rakentaminen 2004–2006

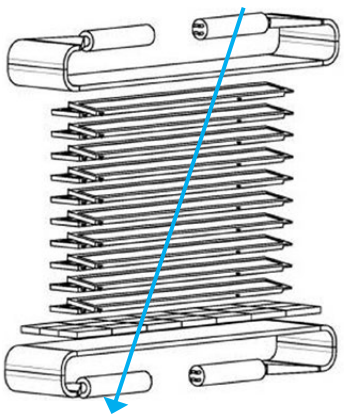


FinnCRack valmiina CERNissä (Kuva CERN)

Erkki Anttila asentamassa FinnCRack-laitteistoa CERNissä. (Kuva CERN)

Ennen TOB Wheel -tukirakenteeseen asentamista täysin varustetut ilmaisinkiskot testattiin CERNissä kosmisia myoneja havaitsemalla. Kiskot testattiin tarkoitusta varten v. 2004 rakennetussa Cosmic Rack (CRack) -testipenkissä, jossa voitiin testata useampia kiskoja samanaikaisesti. Testipenkin suunnitteli ja rakensi HIPin Tracker-projektissa CERNissä työskentelevä tekn.yo. Erkki Anttila. HIPin ryhmä osallistui CRackillä tehtyihin testeihin. Vuoden 2004 lopulla saatiin Helsingin yliopiston Kumpulan kampuksen infrastruktuurin kehittämistä varten myönnetyistä määrärahoista varoja samanlaisen testipenkin rakentamiseen HIPin Kumpulan Ilmaisinlaboratorioon. Erkki Anttila suunnitteli ja rakensi myös tämän laitteen (FinnCRack) CERNissä. Projektia johti FT Edward Hæggström, joka toimi HIPin CMS Tracker -projektin vt. johtajana 2004–2005. Erkki Anttilan diplomityö FinnCRack-projektista valmistui Tampereen Teknillisessä Korkeakoulussa v. 2005.

FinnCRack valmistui kesällä 2005 CERNissä ja kuljetettiin Helsinkiin huhtikuussa 2006. FinnCRack-projektin koordinaattoriksi Kumpulassa nimitettiin FM Teppo Mäenpää. Laite sijoitettiin jäähdytyskaappiin, jossa se voitiin jäähdyttää -10 °C lämpötilaan. Jäähdytysjärjestelmän toimitti MV-Jäähdytys Oy. Mittauksia varten saatiin CERNistä lainaan 8 varusteltua ilmaisinkiskoa.



Kaavakuva Cosmic Rack-laitteistosta. Laitteessa on tilaa 10 TOB-ilmaisinkiskolle. Kosmisten myonien läpikulun rekisteröinti liipaistiin laitteen ylä- ja alapuolella olevien tuikeilmaisimin avulla.

Kun TOB oli jo integroitu CMS:n Keskusratailmaisimeen, FinnCRackillä päästiin tutkimaan TOB-ilmaisinkiskoilla tehtävää kosmisten myonien mittaamista ja siihen liittyviä kysymyksiä. Laitteiston lukuelektroniikaksi otettiin CMS:n baseline-teknologia. Mittaustuloksia käytettiin TOB-rekonstruktio-ohjelmiston sekä Keskusratailmaisimen linjaamisohjelmiston kehittämiseen. FinnCRack osoittautui hyödylliseksi myös CMS Keskusratailmaisimen lukuelektroniikan ongelmien selvittelyssä. Uutena käyttöalueena tuli HIPissä kehitteillä olevien säteilyn kestävien piisensoreiden testaus kosmisten myonien avulla.

Teppo Mäenpää asentamassa FinnCRack-laitteistoa HIPin Kumpulan Ilmaisinlaboratoriossa v. 2006. (Kuva HIP)

13.4. Katse tulevaisuuteen: Säteilynkestävien pii-ilmaisimien kehitystyö

Samanaikaisesti CMS:n rakennustöiden kanssa jatkettiin säteilynkestävien puolijohdeilmaisimien kehitystyötä edelleen TkT Jaakko Härkösen koordinoimana. Uusia detektoriversioita valmistettiin TKK:n Micronova-keskuksessa DI Esa Tuovisen johdolla. Sensorien sähköinen karakterisointi tehtiin HIPin puhdastiloihin rakennetulla laitteistolla. Sensoreita säteilytettiin Jyväskylän yliopiston Kiihdytinkeskuksessa ja säteilytetyt ilmaisimet testattiin CERNin SPS H2 -suihkussa käyttämällä HIPin SiBT-laitteistoa. Ensimmäiset tutkimustulokset protonisuihkuilla säteilytettyjen Czochralski-menetelmällä valmistettujen pii-ilmaisimien toiminnasta julkaistiin v. 2003 aikana.

Säteilynkestäviä pii-ilmaisimia kehittävien instituuttien muodostama RD50-kollaboraatio järjesti työkokouksen ”Workshop on Radiation Hard Semiconductor Devices for Very High Luminosity Colliders” Kumpulassa 2.–4.6.2005.

Vuonna 2005 HIPin ryhmä rakensi yhteistyössä RD39-kollaboraation kanssa CERNiin Cryogenic Transient Current Technique -laitteiston säteilytettyjen sensorien kiderakenteen vaurioitumisen tutkimuksiin. Toinen väitöskirja detektorikehitysprojektista valmistui v. 2006, DI Panja Luukka väitteli aiheesta ”Characterization of Radiation Hard Radiation Detectors” TKK:n sähköosastolla 26.5.2006. Vastaväittäjänä toimi professori Gianluigi Casse Liverpoolin yliopistosta.

HIPin Silicon Beam Telescope rakennettiin kokonaan uudelleen vuonna 2007 yhteistyössä Fermin laboratorion sekä Karlsruhen, Louvainin, Padovan ja Rochesterin yliopistojen CMS-ryhmien kanssa. Referenssi-ilmaisimiksi saa-

HIP isännöi RD50-kollaboraation kuudennetta työkokousta Kumpulan kampuksella 2.–4. kesäkuuta 2005. (Kuva HIP)

HIPin Tracker-projektin jäseniä Kumpulan FinnCRack–laboratoriossa v. 2007. Vasemmalta TkT Jaakko Härkönen, projektin johtaja TkT Eija Tuominen, CMS-ohjelman ohjelmanjohtaja professori Jorma Tuominiemi, FL Teppo Mäenpää ja TkT Panja Luukka. (Kuva HIP)

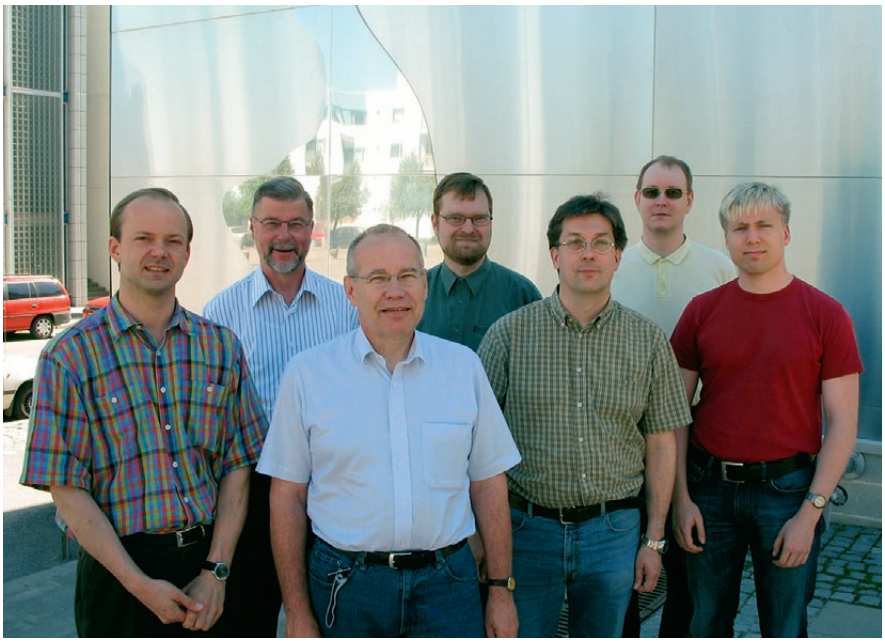
tiin Fermin laboratorion D0-kokeesta kahdeksan Hamamatsun valmistamaa sensoria. Teleskooppi sijoitettiin koteloon, joka voitiin jäähdyttää -20 asteen lämpötilaan. Datan keruussa käytettiin CMS TOB-ilmaisimen lukupiirihybridejä ja testisuihkulla tehtävien kokeiden tiedonkeruuta varten modifioituja CMS:n DAQ-kortteja. SiBT-toiminta liitettiin CMS:n Super-LHC Upgrade -projektin osaksi. Sen koordinaattoriksi nimitettiin TkT Panja Luukka. Vuosina 2008–2009 teleskoopilla mitattiin Helsingissä prosessoituja MCz-sensoreita sekä uudentyyppisiä, Pietarin Ioffe-instituutin kanssa yhteistyössä kehitettyjä Current Injection -ilmaisimia, jotka myös oli prosessoitu TKK:n Micronova-keskuksessa.

DI Esa Tuovinen väitteli pii-ilmaisimien valmistusprosessista TKK:lla 31.10.2008. Väitöskirjan otsikko oli ”Processing of Radiation Hard Particle Detectors on Czochralski Silicon”. Vastaväittäjänä toimi Dr. Ulrich Parzefall Freiburgin yliopistosta. Seuraava väitöskirja projektista valmistui v. 2011, kun Teppo Mäenpää väitteli aiheesta ”Position-sensitive silicon strip detector characterization using particle beams” 20.5.2011 Helsingin yliopistossa. Mäenpään vastaväittäjänä oli professori Hartmut Sadrozinski Santa Cruzin yliopistosta Yhdysvalloista.

13.5. Fysiikan simulointi ja koetulosten analysointiin valmistautuminen 2003–2008

CMS-kokeen yksi tärkeimmistä tavoitteista oli etsiä Higgsin bosonia sen hajoamisissa kahteen fotoniin. Siten fotonien mittaaminen sähkömagneettisella kalorimetrillä oli keskeinen tutkimuksen kohde. HIPin Software and Physics -projektin vastuulla oli fotonien ja elektronien tunnistamiseen tarvittavien algoritmien kehittely simulointitutkimuksilla. Kun ensimmäiset sähkömagneettisen kalorimetrin modulit valmistuivat v. 2004, voitiin niiden toimivuutta elektronien ja fotonien mittaamisessa tutkia testisuihkuissa. HIPin ryhmä osallistui näiden mittausten data-analyysiin ja kehitettyjen algoritmien toimivuuden tutkimiseen.

Toinen tärke HIPin aktiviteetti oli CMS:n ratailmaisimien linjaaminen. Yksi CMS-analyysin kriittisistä kohdista oli laatia ja testata ratailmaisimilla mitattuihin hiukkasratoihin perustuvia linjausalgoritmeja, joilla voitiin saavuttaa lopullinen, alle 10 μm:n tarkkuus yksittäisten sensorien paikallistamisessa. Veikko Karimäki ja Tapio Lampén kehittivät tätä varten edelleen ”Hits and Impact Points” (H.I.P.) -algoritmia, josta tuli tärkeä työkalu CMS:n ratailmaisimien linjaamiseen. Erityisesti pikseli-ratailmaisimen linjaus oli HIPin ryhmän vastuulla. Se pohjautui kokonaan hiukkasratojen analysointiin. Linjausmenetelmiä kehitettiin myös Cosmic Rack -laitteistojen ja HIPin suihkuteleskoopin linjauksessa. Linjausprojektista valmistui v. 2007 väitöskirja. Tapio Lampén väitteli 20.7.2007 TKK:lla aiheesta ”Detector Alignment



HIPin Software and Physics -projektin jäseniä Kumpulan kampuksella 2007. Vasemmalta TkT Tapio Lampén, professori Jorma Tuominiemi, projektin johtaja dos. Veikko Karimäki, FL Teppo Mäenpää, FT Tomas Lindén, FT Sami Lehti ja yo. Henri Moilanen. (Kuva HIP)

Studies for the CMS Experiment". Vastaväittäjänä toimi Dr. Jochen Schieck Münchenin yliopistosta, joka oli ATLAS-kollaboraation jäsen.

Software and Physics -ryhmän kolmas tärkeä aihe oli tau-leptonien tunnistamismenetelmien kehittäminen, mikä oli aloitettu Sami Lehden väitöskirjatyössä v. 2001. Tau-leptonien identifioiminen oli erityisen tärkeää Minimal Supersymmetric Standard Model -teorian Higgsin bosonien etsinnässä, jossa HIPin ryhmällä oli päävastuu. Tässä tutkimuksessa FT Sami Lehdellä oli koordinaatiovastuu ja siinä työskentelivät dos. Ritva Kinnunen, PhD Kati Lassila-Perini ja FM Lauri Wendland.

CMS-kollaboraation tärkeä välitavoite oli v. 2006 valmistunut Physics Technical Design report, joka kokosi yhteen CMS-kokeen törmäysten simulointia, rekonstruktiota ja fysiikan tulosten analysointia koskeneet tutkimukset ja niihin perustuneet arvioinnit ilmaisimien suorituskyvystä ja CMS-kokeen fysiikan potentiaalista. Technical Design -raportin ensimmäinen osa "Detector Performance and Software" (CERN/LHCC 2006-001) valmistui 2.2.2006 ja toinen osa "Physics Performance" 25.6.2006. HIPin ryhmän vastuulla oli raportointi edellä esitetyistä tutkimuksista. Tässä vaiheessa koko CMS Software (CMSSW) -ohjelmisto oli rakennettu kokonaan Object Oriented C++ ohjelmointikielellä.

HIPin toimintamalli on projektipohjainen. HIP oli järjestänyt Teoriaohjelman projekteista SABin arviointien lisäksi asiantuntija-arviointeja vuodesta 2004 lähtien. Vuonna 2006 johtaja Riska päätti, että vuorossa oli CMS-ohjelman Physics and computing -projekti ja että se arvioitaisiin ennen LHC-kokeiden käynnistymistä. Asiantuntijoiksi saatiin kaksi kansainvälisesti arvostettua hiukkasfyysikkoa, Dr. Nick Ellis CERNistä ja Dr. Matthias Kasemann DESY-laboratoriosta. Arvioijien käyttöön toimitettiin yksityiskohtainen aineisto projektin saavutuksista ja tilanteesta. Arviointiseminaari pidettiin CERNissä 22.6.2006, jossa projektin jäsenet esittelivät projektin tuloksia. Asiantuntijoiden raportti projektista oli hyvin positiivinen. Ellis ja Kasemann pitivät HIPin panosta CMS-projektiin vaikuttavana erityisesti ottaen huomioon ryhmän pienen koon. He katsoivat, että LHC-kokeiden aloittamista silmällä pitäen ryhmä tarvitsi vahvistamista. Toinen kokeitten aloittamista varten tärkeä huomioon otettava seikka oli riittävän tietojenkäsittelykapasiteetin varmistaminen HIPissä. Arvioijat katsoivat, että HIPin kaavailema Tier 2 -keskuksen perustaminen CSC:lle oli tämän vuoksi välttämätöntä. Sen suunniteltu kapasiteetti vastasi hyvin muita CMS:ssä rakenteilla olevia T2-keskuksia. Keskuksen avulla HIP olisi hyvässä asemassa CMS:n data-analyysissä ja CMS:n laskentakapasiteettiin osallistumisessa. Loppulausuntona arvioijat kirjoittivat:

> ”In conclusion, we congratulate the HIP team on their excellent work and for the well focused programme that they have presented to us. We recommend continuing the CMS project into the next phase of data taking and analysis. We consider the HIP group very experienced and well prepared to make substantial contributions to CMS and to produce important scientific results.”

Arvioinnin jälkeen HIPin johtokunta jatkoi Physics and Software -projektia 1.1.2007–31.12.2009. LHC-kokeiden alkua silmällä pitäen nimeksi määrättiin ”CMS-kokeen fysiikan analyysiprojekti” (CMS Physics project). Projektin johtajaksi määrättiin Veikko Karimäki samalle ajalle. Vuoden 2008 alussa CMS Physics -projekti sai tutkijavahvistusta, kun siihen liittyi Fermin laboratoriosta Suomeen palannut DI Mikko Voutilainen. Voutilainen sai v. 2009 alussa CERNin Fellowship-stipendin (2009–2011) ja siirtyi CERNin CMS-ryhmään kolmeksi vuodeksi. Hän oli koko tämän ajan kiinteässä yhteydessä HIPin CMS-fysiikan ryhmän kanssa.

Hadronikokeisiin kouluttautumista Fermilabissa

CMS:n rakennusvaiheessa fysiikan ryhmään värvätyillä nuorilla tutkijoilla ei ollut kokemusta hadronitörmäytinkokeista. Elektroni-positroni-törmäyksiä mitannut DELPHI-koe oli ollut suomalaisen hiukkasfysiikan pääkoe koko 1990-luvun ajan. Hadronitörmäytinkokeissa törmäysreaktioiden rekisteröinnin liipaisu on tärkeä elektroni-positroni-kokeista erottava tekijä. Liipaisujärjestelmä, jota elektroni-positroni-törmäytinkokeissa ei tarvita, on suuri ja tärkeä osa koelaitteistoa ja haaste kokeen tekemiselle ja fysiikan analyysille. Se vaatii laajaa perehtymistä ja kokemusta.

HIPin Hiukkasfysiikan ohjelma oli aloittanut osallistumisen Fermin laboratorion protoni-antiprotoni-törmäyttimellä käynnissä olleeseen CDF-kokeeseen v. 2002, joten HIPin nuoren polven tutkijoiden perehdyttämistä hadronitörmäyttimien fysiikkaan oli aloitettu.

HIPin CMS-projektille oli myös tärkeätä saada kokemusta hadronikokeista. HIPin CMS-ryhmään saatiin v. 2003 palkattua TKK:lta valmistunut insinööri Mikko Voutilainen, joka oli kiinnostunut jatko-opinnoista hiukkasfysiikassa. Päätimme tutkia mahdollisuuksia lähettää hänet tohtoriopiskelijaksi Fermilabin Tevatron-törmäyttimellä käynnissä olevaan D0-kokeeseen. Tämä onnistui yhteistyössä Nebraskan yliopiston professorin Greg Snow'n kanssa. Snow oli myös CMS-kokeen jäsen. Voutilainen työskenteli Fermilabissa aluksi Suomen Akatemian rahoituksella ja sittemmin OPM:n GRASPANP-tohtorinkoulutusohjelman tutkijana. Voutilainen siirtyi Fermin laboratorioon Nebraskan yliopiston D0-tutkimusryhmään huhtikuussa 2004. Hän ryhtyi perehtymään hadronisten ryöppyjen energiamittaukseen, joka on hadronikokeiden eräs keskeisistä ongelmakohdista. Tästä syntyi Voutilaisen väitöskirjatyö.

Mikko Voutilainen vastaanottamassa väitöskirjapalkintoa Fermin laboratoriossa. Kuvassa myös Nebraskan yliopiston CMS- ja D0 -ryhmien johtaja professori Greg Snow (Kuva Fermilab)

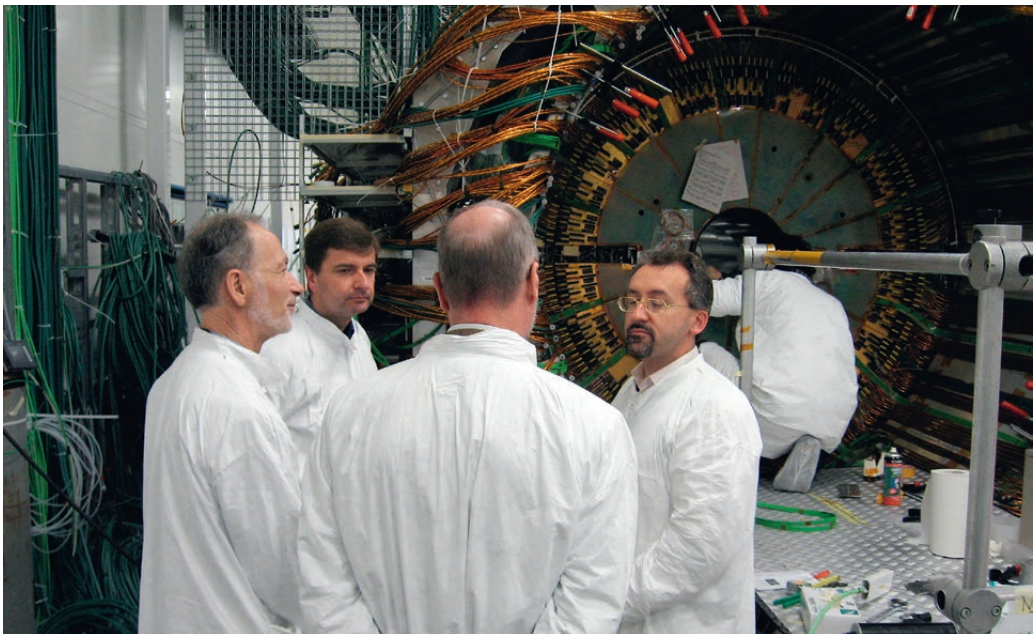
HIPin CMS-ryhmän nuoret tutkijat olivat saaneet yleisesti kiitosta ulkomaisten kollegoidensa parissa. Niin myös Mikko Voutilainen. Dr. Vivien O'Dell (Fermilab) on pitkäaikainen kollegani UA1-ajoista alkaen. Voutilaisen työskennellessä D0-kokeessa Vivien toimi paitsi CMS-kokeessa, myös D0-kokeen jäsenenä Fermin laboratoriossa. Tavatessani Vivienia CERNissä kyselin häneltä usein, miten Mikko pärjää. Heti ensimmäisellä kerralla tuli lyhyt vastaus: "Send us more Mikkos."

Voutilainen palasi Helsinkiin v. 2007 lopussa ja liittyi HIPin Physics and Software -ryhmään.

Hän väitteli 11.7.2008 TKK:lla D0-kokeen fysiikan analyysistä otsikolla "Measurement of the inclusive jet cross section in p-pbar-collisions at the center-of-mass-energy of 1.96 TeV". Vastaväittäjänä toimi professori Günther Dissertori ETH-Zürichistä, joka oli CERNin CMS-kollaboraation jäsen. Fermin laboratoriota hallinnoinut Universities Research Association palkitsi Voutilaisen väitöskirjan vuoden 2009 väitöskirjapalkinnolla.

13.6. HIPin Tracker-projekti: kohti LHC-kokeiden aloittamista 2007–2009

Myös Tracker-projektin kansainvälinen arviointi järjestettiin ennen LHC-kokeiden alkua v. 2007. Arvioijiksi saatiin kaksi kokenutta instrumenttifyysikkoa, Dr. Christian Joram CERNistä ja Dr. Michael Tyndel RAL-laboratoriosta. Arvioijille toimitettiin yksityiskohtaista aineistoa projektista. Arviointiseminaari järjestettiin CERNissä 20.4.2007 projektipäällikkö Eija Tuomisen johdolla. Seminaarissa Tracker-projektin jäsenet raportoivat tuloksista. Sen jälkeen arvioijat tutustuivat Keskusratailmaisimen TOB-osan rakentamiseen TIF-hallissa.



Tracker-projektin arvioijat TOB-ilmaisimen rakennustöitä tarkastamassa. Vasemmalta Dr. Michael Tyndel, Dr. Christian Joram, professori J. Tuominiemi (selin) ja Dr. Duccio Abbaneo (CERNin CMS-ryhmän TOB-projektin johtaja). (Kuva CERN)

Lausunnossaan arvioijat pitivät HIPin saavutuksia CMS-kokeen rakentamisessa erittäin merkittävinä. He painottivat, että pienen ryhmän ei ole helppoa tehdä merkittäviä kontribuutioita ja saada näkyvyyttä CMS:n kaltaisessa suuressa projektissa. Arvioijat listasivat HIPin ryhmän tärkeimpinä saavutuksina keskusratailmaisimen tukirakenteen suunnittelun, valmistamisen ja kokoamisen, beam-teleskoopin rakentamisen pii-ilmaimien testausta varten, osallistumisen liipaisuelektroniikan suunnitteluun ja rakentamiseen sekä uraa uurtavan työn säteilynkestävien pii-ilmaisimien kehittämisessä tulevia LHC-kokeita varten. Näillä saavutuksilla oli arvioijien mukaan vahva tieteellinen

impakti. Projekti oli tarjonnut kiinnostavia tutkimusaiheita ja stimuloivan ympäristön jatko-opintoja varten, mikä näkyi väitöskirjojen ja muiden tutkielmien määrissä. Yhteenvetona arvioijat kirjoittivat:

> ”In summary, the HIP team made major contributions to CMS which were of highest quality and delivered in time and budget. A relatively small team has made important contributions to the construction of CMS. These are visible achievements with high scientific impact. Their silicon R&D effort is recognized in the community and is of highest relevance for possible CMS tracker upgrade scenarios. The CMS project continues to deserve its flagship status in HIP. It plays already an excellent role in disseminating knowledge and results into a broader community (teachers, students) and will gain even more visibility after the start-up of LHC.”

Arvioijien ehdotukset projektin jatkolle olivat:

1) FinnCrackin ja beam-teleskoopin hyödyntäminen jälkirekonstruktiotutkimuksissa ja CMS:n software-kehityksessä,
2) pii-ilmaisin-projektin jatkaminen,
3) elektroniikan osaamisen soveltaminen ratailmaisimen upgrade-vaiheen tiedonkeruu- ja liipaisuprojekteihin,
4) RPC-liipaisuprojektin loppuun vienti.

Arvioijat valittelivat sitä, että mekaniikkaprojektin jatkaminen CMS-koeaseman suunnittelussa suuren luminositeetin LHC-kokeita varten näytti resurssien puutteessa mahdottomalle. Keskusilmaisimen asentamisen jälkeen TOB-projektissa työskennelleet DI Harri Katajisto ja DI Erkki Anttila olivat siirtyneet teollisuuden palvelukseen. Mekaanikkoryhmästä Pauli Engström palasi Helsingin yliopiston Fysiikan laitokselle, Jarmo Kortesmaa siirtyi CERNin henkilökuntaan ja Auli Kuronen teollisuuden palvelukseen. Näin menetettiin korkeatasoista osaamista HIPistä.

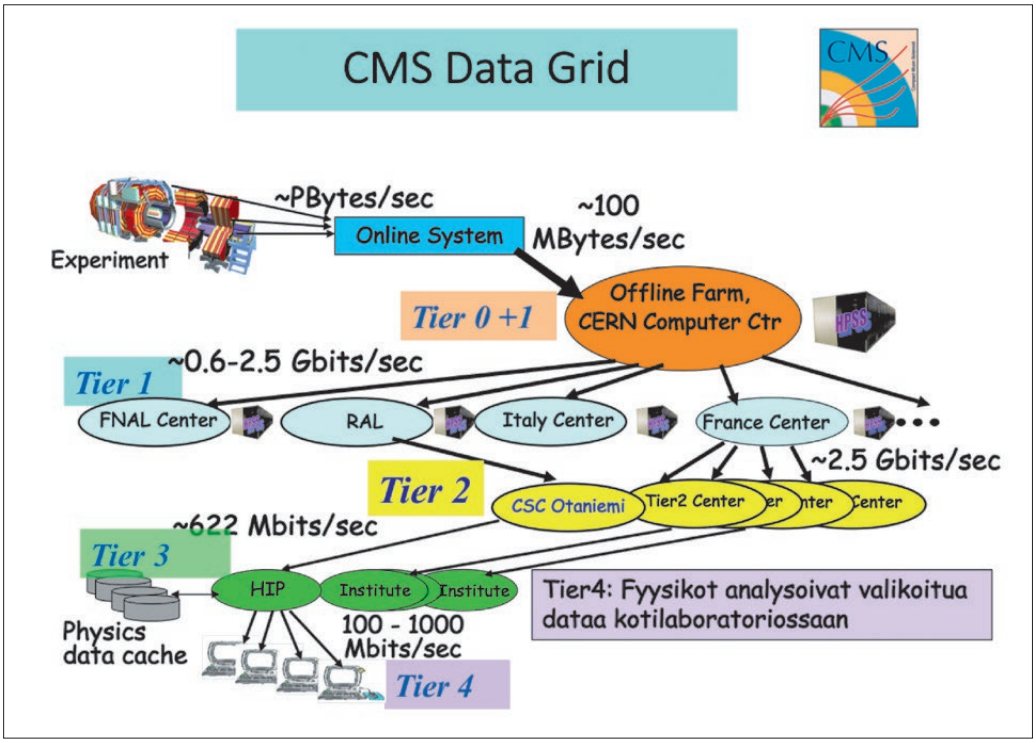
Tracker-projekti jatkui entisten päätösten mukaisesti v. 2008 loppuun TkT Eija Tuomisen johtamana. Hänet oli 20.8.2007 nimitetty jatkuvaan työsuhteeseen laboratorioinsinööriksi koordinoimaan HIPin ilmaisinlaboratoriota. LHC-kokeiden käynnistymisen lähestyessä Tracker-projektia jatkettiin 1.1.2009–31.12.2010 nimellä ”CMS jälki-ilmaisimen operointi” (CMS tracker project). Projektin johtajaksi nimitettiin professori Paula Eerola. Uudessa Tracker-projektissa työskentelivät edelleen Suomen Akatemian tutkija Jaakko Härkönen, PhD Sandór Czellár, tutkijatohtorit Panja Luukka ja Esa Tuovinen, sekä tohtoriopiskelija Teppo Mäenpää, yo. Henri Moilanen ja yo. Heikki Viljanen. Projektissa työskenteli osapäiväisesti edelleen PhD Ivan Kassamakov.

13.7. HIPin CMS-projektin kolmas tukijalka: CMS-kokeen Grid-laskentajärjestelmän rakentaminen Helsinkiin 2001–2009

CMS:n datanprosessointijärjestelmä koostuu neljästä DataGrid Tier -tasosta. Ensimmäinen taso Tier 0 on CERNin ”on site”-tietokonejärjestelmä, jonne CMS-koeaseman tuottama raakadata luetaan. Data tallennetaan CERNin levy- ja nauhajärjestelmään. Tässä vaiheessa sille tehdään myös ensimmäinen eventtirekonstruktio, jossa on mukana koeaseman ilmaisimien linjaustieto sekä eri ilmaisimien kalibraatiotiedot. Seuraava järjestelmän taso Tier 1 muodostuu alun perin yhdeksästä ja nykyään ympäri maailmaa sijaitsevista 13 suuresta tietokonekeskuksesta, joihin raakadatasta lähetetään kopioita. Tier 1 -keskuksissa datasta tehdään toinen eventtirekonstruktio, jossa on käytössä uusi iteraatio linjaus- ja kalibraatiotiedoista. Fysiikka-analyysi tehdään suurimmaksi osaksi kolmannella tasolla Tier 2, joka koostuu CMS:n osallistujainstituuttien käytössä olevista tietokonekeskuksista. Neljäntenä tasona ovat instituuttien omat tietokoneet ja viidentenä tutkijoiden käytössä olevat työasemat. Tier 2 -keskuksissa tehdään myös suurin osa Monte Carlo -simulaatioajoista, joiden tuottama data tallennetaan Tier 1 -tason keskuksiin nauhoille käytettäväksi CMS-kokeen analyysissä. CMS:n laskentamallin Technical Design Report (The Computing Project, CERN/LHCC 2005-023) valmistui v. 2005 keväällä ja toimitettiin CERNin LHC-komitealle kesäkuussa 2005.

CMS testasi v. 2004 vielä rakenteilla olevaa laskentajärjestelmäänsä ensimmäisen kerran (CMS Data Challenge 2004). Testiä varten tuotettiin 50 miljoonaa simuloitua törmäystapahtumaa CMS-koeasemassa käyttämällä CMSKIN- ja CMSSIM-ohjelmia. Tuotettu datavolyymi oli 100 TB. Tämän ja myöhempien simulaatiokampanjoitten tuottama data oli pohjana Physics Design Report -raporteille, joiden valmistuminen tähdättiin vuodelle 2006.

HIP oli tehnyt Grid-laskennan kehitystyötä yhteistyössä v. 2001 perustetun pohjoismaisen NorduGrid-projektin kanssa. NorduGrid kehitti Grid-laskentaa varten Advanced Resource Connector (ARC) middleware-ohjelmiston, jota HIP aikoi käyttää CMS-laskennassa. Toukokuun 24.–25.2002 HIP järjesti Kumpulan kampuksella työkokouksen ”Third NorduGrid Workshop”, johon osallistui n. 40 asiantuntijaa Pohjoismaista ja Yhdysvalloista. Ohjelmaan kuului useita esityksiä Grid software -työkaluista ja lisäksi NorduGrid-eksperttien yhteistyökokous, jossa ARC-ohjelmisto julkistettiin. NorduGrid-projektin kehittämä ARC-ohjelmisto oli perustana pohjoismaiselle hajautetulle Tier 1 -keskukselle (Nordic Data Grid Facility, NDGF), joka rakennettiin palvelemaan LHC-kokeiden laskentatarpeita. Tämä pilotti-NDGF toimi 2002 –2005. Vuonna 2006 Pohjoismaiden tiedehallinnot päättivät NDGF:n jatkuvasta rahoituksesta. Se palvelee lähinnä ATLAS- ja ALICE-kokeiden analyysiä pohjoismaissa. HIP osallistuu NDGF:n toimintaan ARC-ohjelmiston kehi-



CMS:n laskentajärjestelmä. (Kuva Capiluppi/CMS)

tystyössä hyödyntämällä NDGF:n palveluita. ALICE-kokeen käynnistyttyä NDFG toimii sen Tier 1 -keskuksena. Vuonna 2007 HIP liittyi Worldwide Large Hadron Collider Computing Grid -projektiin (WLCG), jonka CERN perusti organisoimaan LHC-kokeiden data-analyysiä. WLCG oli v. 2012 maailman suurin Grid-laskentaverkosto. Siihen kuuluu yli 170 laskentakeskusta 42 maasta.

HIPissä LHC-kokeiden analysointia varten tarvittava tietojenkäsittelylaitteisto alkoi rakentua vuoden 2002 aikana. Kumpulan kampukselle saatiin testilaitteisto, joka voitiin kytkeä NorduGrid-verkostoon. Lisäksi Kumpulaan saatiin 1,4 TB levypalvelin, jota alettiin käyttää grid-tallennuspalvelimena (Storage Element, SE) sekä CMS-kokeen rekonstruktioidun datan tallennukseen kytkemällä se Nordugrid-järjestelmään. Koska CMS:n Grid-laskentajärjestelmä ei vielä ollut valmis, jouduttiin yhteydet CMS:n kanssa hoitamaan erilaisten väliaikaisten ratkaisujen avulla. CSC:n resursseilla Software and Physics -ryhmä saattoi kuitenkin osallistua CMSKIN- ja CMSSIM-ohjelmapaketeilla tehtyyn Monte Carlo -eventtituotantoon (20 TB), jota tarvittiin CMS:n Data Acquisition Technical Design -raportin laatimiseen. Raportti (CERN-LHCC-2002-026; CMS-TDR-6) valmistui joulukuussa 2002.

Seuraava täydennys Kumpulan laskentakapasiteettiin oli v. 2003 HIPin ja HY:n Fysikaalisten tieteiden laitosten yhteiskäyttöön hankittu Linux-klusteri ”mill”. Näin saatiin laskentainfrastruktuurin perusta luotua CMS:n Grid-järjestelmän testausta ja kehittämistä varten. FT Tomas Lindén nimitettiin HIPin datankäsittelylaitteiston koordinaattoriksi. Jatkuvaan toimeen laboratorioinsinööriksi hänet nimitettiin vuonna 2009. Kumpulan kampukselle saatiin lisäksi v. 2004 toinen Linux-klusteri (”ametisti”) HY:n Kemian laitoksen, Fysikaalisten tieteiden laitoksen ja HIPin yhteishankkeena. Se oli osa Suomen Akatemian ja 10 yliopiston yhteishanketta (Material Science National Grid Infrastructure, M-Grid).

Vuoden 2005 aikana CMS-ohjelmisto saatiin asennettua HIPin käytössä olevalle mill-klusterille. Samoin CMS:n Tier-tasojen välistä datan siirtoa välittävä ohjelmisto PheDex oli toiminnassa. Tärkeä elementti laskentaa varten oli HIPin käytössä oleva levykapasiteetti, joka saatiin v. 2005 nostettua 7,5 TB:iin. Käytännön ongelmana CMS-analyysissä oli, että CMS:n Grid-laskentajärjestelmä käytti toista middleware-ohjelmistoa (gLite) kuin NorduGrid, joten yhteydet HIPin ja CMS:n välillä jouduttiin hoitamaan vielä ”ad hoc” -menetelmin.

Kuten ulkoiset arvioinnit osoittivat, HIPin CMS-ohjelma oli LHC-kokeiden alkamisen lähestyessä v. 2006 hyvin valmistautunut data- ja fysiikan analyysiin sekä ratailmaisinlaitteiston hallintaan. Tarvittiin kuitenkin vielä software-osaamisen ja laiterakennuksen lisäksi kolmas tukijalka, tietokonekapasiteetti CMS:n Grid-laskentajärjestelmän HIP-Tier 2 -keskusta varten. Se oli välttämätön, jotta täysipainoinen osallistuminen kokeisiin oli mahdollista. Tier 2 -keskusta oli jo suunniteltu CSC:n kanssa useita vuosia ja HIP oli hakenut sille rahoitusta, mutta v. 2006 asia oli vielä auki.

Opetusministeriö oli v. 2005 asettanut työryhmän käsittelemään Grid-teknologian käyttöä ja kehittämistarpeita Suomessa. Työryhmä koostui asiantuntijoista eri yliopistoissa, CSC:stä, Opetusministeriöstä ja Suomen Akatemiasta. Puheenjohtajana toimi akatemiaprofessori Risto Nieminen ja HIPin edustajana johtaja Dan-Olof Riska. Työryhmän raportissa 15.9.2005 esitettiin useita toimenpide-ehdotuksia suomalaisen Grid-laskennan kehittämiseksi. Yhtenä niistä oli kansallisen Grid-teknologian osaamiskeskuksen perustaminen CSC:n yhteyteen. LHC-laskennan osalta työryhmä ehdotti LHC-kokeisiin liittyvän, suomalaisen hiukkasfysiikan tutkimuksen tarpeet täyttävän laskenta- ja tallentamisjärjestelmän rakentamista CSC:n osaamiskeskuksen yhteyteen. Raportissa mainittiin myös, että HIP ja CSC olivat jo yhdessä suunnitelleet tällaisen Tier 2 -keskuksen pystyttämistä ja esittäneet arvionsa rakennuskustannuksista.

Vuoden 2006 keväällä oltiin niin pitkällä, että OPM valmisteli määrärahojen myöntämistä HIP-CSC Tier 2 -keskuksen rakentamiseen. Päätös tuli pian. OPM myönsi 2,4 milj. Euron määrärahan keskusta varten vuosille 2008–2010. Tier 2 -keskusten tehtävänä on tarjota levytilaa sekä edelly-

CERNin tutkimusjohtaja Jos Engelen ja HIPin johtaja Dan-Olof Riska allekirjoittamassa WLGC:n ja HIPin välistä sopimusta v. 2007. (Kuva CERN)

tykset simulaatioille ja fysiikan analyyseille. HIP ja CSC tekivät sopimuksen keskuksen rakentamisesta CSC:n tiloihin ja tarvittavista CSC:ltä saatavista hankinta- ja käyttöpalveluista. HIPin Teknologiaohjelmaan perustettiin uusi projekti (Grid Cluster), jonka projektipäälliköksi nimitettiin DI Antti Pirinen. Projektille asetettiin myös koordinaatioryhmä, jonka puheenjohtajaksi määrättiin HIPin CMS-ohjelman johtaja professori Jorma Tuominiemi. Jäseniksi tulivat HIPin puolelta DI Antti Pirinen ja Teknologiaohjelman johtaja professori Ari-Pekka Hameri, CSC:n puolelta FM Pirjo-Leena Forsström, FT Janne Ignatius, FM Dan Still ja DI Tero Tuononen. Koordinaatioryhmä kokoontui ensimmäisen kerran 4.10.2007. Tier 2 -keskuksen rakennettiin tiiviissä yhteistyössä HIPin CMS- ja Teknologiaohjelmien kesken sekä CSC:n ja NDGF:n kanssa. CSC:ltä käyttöön saatu 512 CPU-ytimen laskentaklusteri ”Sepeli” ja siihen liitetty 170 TB:n levyjärjestelmä käynnistettiin keväällä 2008.

HIPin Tier 2 -laskentajärjestelmä pystyi osallistumaan CMS-kokeen Grid-laskentajärjestelmän käyttöönottokampanjaan (CSA2008) touko–kesäkuussa 2008. Nordugridin ja CMS:n Grid-laskentajärjestelmien middlewareohjelmistojen yhteensopivuusongelma saatiin lopullisesti ratkaistua v. 2008 aikana. HIPin Tier 2 -keskuksen tietoliikenneyhteyttä Eurooppaan tehostettiin hankkimalla 10 Gb/s valokaapeli CSC:ltä Tanskaan. Jatkoyhteys CERNiin, myös 10 Gb/s kaapeli, saatiin käyttöön osana WLCG-projektia. HIPin datayhteys CMS:n Tier 1 -tasolle hoidettiin Rutherford Laboratorion CMS:n Tier 1 -keskuksen kautta. Näin oli kolmaskin tukijalka CMS-kokeeseen osallistumiselle Suomessa saatu rakennettua.

LHC-ajojen käynnistyksen siirryttyä v. 2009 loppuun CMS-kokeelle tuli lisäaikaa testata laskentajärjestelmäänsä. HIP osallistui v. 2009 kahteen simuloidulla datalla tehtyyn kampanjaan: ”Scale testing for the Experimental Programme 2009” ja ”October Exercise”. Molemmissa operaatioissa HIPin Tier 2 -keskus täytti hyvin CMS:n asettamat vaatimukset. Siitä lähtien HIPin Tier 2 -järjestelmä on toiminut yli 90 %:n käytettävyystasolla. Vuonna 2010 HIPin Tier 2 -hankkeen koordinaatioryhmä piti viimeisen kokouksensa, kun OPM:n erikoistuki päättyi ja keskuksen toiminnan rahoitus siirtyi kokonaan HIPin budjettiin. Vuosina 2010–2012 HIPin OPM:lta saatu tuki käytettiin loppuun laskentainfrastruktuurin uusimiseen. Keskuksen toiminta on voitu hoitaa HIPin resursseilla ja HIPin osallistuminen CMS:n fysiikan analyysiin on toiminut v. 2009 lähtien ilman ongelmia. HIPin Software and Physics -projekti on tehnyt paikallisella Tier 2 -resurssilla fysiikan analyysiä ja CMS:n edellyttämät simulaatiodatan tuottamisen tavoitteet on täytetty.

14. Suomi-CERN-yhteistyöhön liittyviä tapahtumia ja vierailuja 2000–2012

CERN täytti v. 2004 50 vuotta. Myös Suomessa järjestettiin juhlallisuuksia merkkipäivän johdosta. Teknillinen korkeakoulu, HIP, TKK:n Tuotantotalouden laitos ja Finnpro järjestivät Otaniemessä aamupäivällä 28.10.2004 kollokvion otsikolla ”CERN 50 vuotta, teollisuusyhteistyö ja suomalaiset menestystarinat”. HIP, Helsingin yliopiston fysikaalisten tieteiden laitos ja Suomen Fyysikkoseuran Hiukkasfysiikan jaosto järjestivät puolestaan saman päivä iltapäivänä juhlakollokvion Kumpulan kampuksella.

CMS-kollaboraation puhemies, Dr. Michel Della Negra (keskellä) vierailulla HIPissä CERNin 50-vuotisjuhlallisuuksien aikana. Vasemmalla HIPin johtaja, professori Dan-Olof Riska, oikealla HIPin CMS-ohjelman johtaja professori Jorma Tuominiemi. (Kuva HIP)

Aamupäivän tapahtuman avasi TKK:n rehtori Matti Pursula. Kutsuttuna puhujana CERNin tutkimusjohtaja Hans Hoffmann esitelmöi aiheenaan ”CERN and technology transfer, Finnish industry at CERN”. Vuorineuvos Jaakko Ihamuotilan puheenvuoron piti professori Ari-Pekka Hameri Ihamuotilan oltua estyneenä. Tämän jälkeen TKK:lta lähtöisin oleva CERNissä pitkään työskennellyt CMS-fyysikko Dr. Kati Lassila-Perini sekä TKK:lta valmistunut ja CERNin henkilökuntaan v. 1995 siirtynyt DI Antti Onnela esittivät kokemuksiaan CERNin fysiikan ja teknologian toiminnan maailmasta. Seuraavassa istunnossa esiteltiin suomalaisen teollisuuden menestystarinoita CERNissä. Esillä olivat Exel Oyj ja komposiittirakenteet, Rados Technology Oyj:n säteilyannosmonitorit sekä Kempower Oyj:n virtakiskot.

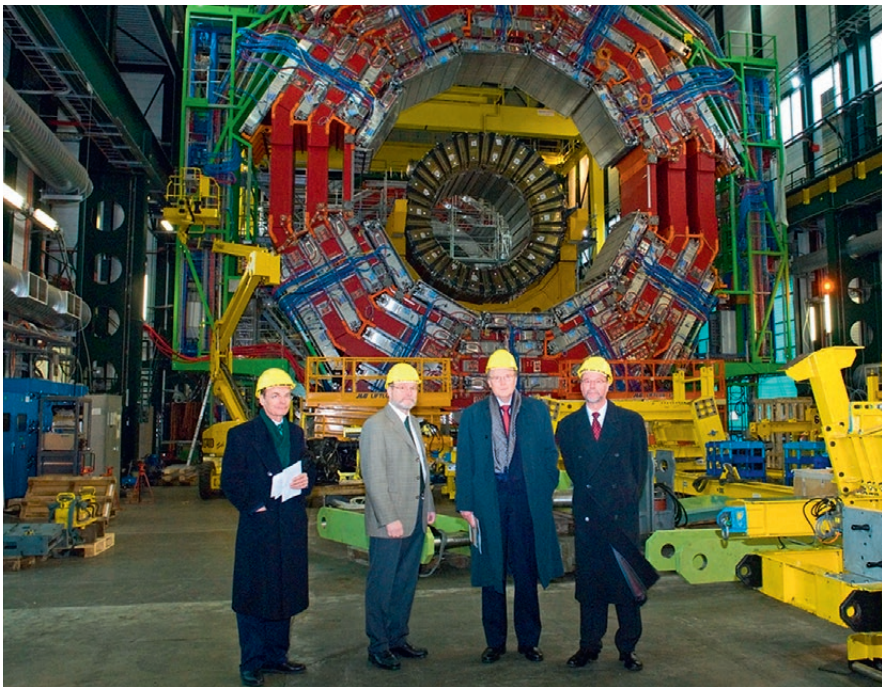
Iltapäivän kollokvion avasi HIPin johtaja professori Dan-Olof Riska. Professori Jorma Tuominiemi loi katsauksen CERNin historiaan, minkä jälkeen kutsuttuna puhujana CERN-fyysikko, CMS:n puhemies Dr. Michel Della Negra esitelmöi CERNin Large Hadron Collider -kiihdyttimellä tehtävästä fysiikan tutkimuksesta. Professori Risto Oravan piti esityksen LEP-törmäyttimestä ja sillä tehdystä DELPHI-kokeesta ja professori Juha Äystö

Eduskunnan sivistysvaliokunta vieraili CERNissä tutustumassa suomalaisten tutkijoiden toimintaan 16.3.2006. Kuvassa valiokunta vierailulla CMS-koeaseman P5-rakennushallilla. Keskellä CMS:n puhemies Dr. Michel Della Negra ja valiokunnan puheenjohtaja Kaarina Dromberg. Viidentenä vasemmalta kansanedustaja Ilkka Taipale, joka tyylilleen uskollisena lupasi "hoitaa CMS:n Suomen resurssit kuntoon". (Kuva CERN)

esityksen CERNin ISOLDE-projektista. Tilaisuuden päätteeksi professori Ari-Pekka Hameri loi katsauksen CERNin yhteiskunnallisiin vaikutuksiin.

TKK:n vararehtori Kalevi Ekman, yksi TOB-projektin alkuunpanijoista TKK:ssa, sekä Jyväskylän yliopiston vararehtori Matti Leino vierailivat CERNissä 25.8.2005 tutustumassa suomalaisten toimintaan. TOBin kokoaminen oli juuri aloitettu. Molemmat vieraat olivat HIPin johtokunnan jäseniä. He tapasivat CERNin tutkimusjohtajan, Dr. Jos Engelenin ja Fysiikan osaston johtajan Dr. Dieter Schlatterin sekä vierailivat CMS-, ATLAS- ja ISOLDE-koeasemilla ja CMS Trackerin rakennushallilla. Vierailun isäntänä toimi HIPin johtaja professori Riska.

Suomen Akatemian ja Opetusministeriön johtoa vieraili CERNissä 31.3.2009. Ryhmää johti Akatemian pääjohtaja professori Markku Mattila ja jäseninä olivat ylijohtaja Ossi Malmberg ja johtava tiedeasiantuntija Pentti Pulkkinen Akatemiasta sekä johtaja Leena Vestala ja tiedeasiantuntija Markku Suvanen OPM:n Koulutus- ja tiedepolitiikan osastolta. He tapasivat CERNin



Suomen Sveitsin-suurlähettiläs Pekka Ojanen vieraili CERNissä 23.7.2007. Hän tapasi CERNin johtoa ja tutustui suomalaisten tutkijoiden toimintaan. Kuvassa suurlähettiläs Ojanen on vierailulla CMS:n rakennushallissa. Vasemmalta TkT Tapio Niinikoski (CERN), FT Martti Pimiä (CERN, CMS), suurlähettiläs Ojanen ja professori Jorma Tuominiemi (HIP). (Kuva CERN)

pääjohtajan Rolf Heuerin, hallintojohtaja Sigurd Lettowin ja CERNin PH-osaston päällikön Dr. Wolf-Dieter Schlatterin. Schlatter toimi tuolloin HIPin Tieteellisen neuvottelukunnan (SAB) puheenjohtajana. Ryhmä kävi tutustumassa myös CMS- ja ISOLDE -kokeisiin. Iltapäivällä järjestettiin CERNissä työskentelevien suomalaisten tutkijoiden tapaaminen, jossa nämä esittivät tutkimuksensa sisältöä. Esityksistä valmistettiin raportti Suomen Akatemialle ja Akatemia julkisti tiedotteen vierailusta. Tiedotteessa pääjohtaja Mattila totesi: ”Suomen toiminta CERNissä on ollut jo nyt erittäin menestyksekästä tieteellisesti, teollisesti ja opetuksellisesti….. Suomella on hyvin rajalliset mahdollisuudet isännöidä kansainvälisen tason tutkimusjärjestelyjä ja tutkimusinfrastruktuureja. Pitää toimia muiden maiden kanssa yhdessä. Suomen CERN-toiminnan organisointi on erinomainen esimerkki siitä, miten kansallisesti tuetaan kansainvälisen tutkimusorganisaation monipuolista hyödyntämistä ja miten hedelmälliseksi panostus muodostuu tieteelle ja taloudelle.”

CSC:n johtoryhmän ja johtokunnan jäseniä vieraili CERNissä 19.5.2009 tutustumassa Suomen CERN-toimintaan. Delegaatiota johtivat CSC:n johtokunnan puheenjohtaja professori Taina Pihlajaniemi Oulun yliopistosta ja

CSC:n johtaja Kimmo Koski ja osastopäällikkö Tero Tuononen vierailivat CERNisssä 13.2. 2008. He tutustuivat vierailun aikana CMS:n koeasemaan ja tapasivat CMS:n Data Handling -koordinaattorin, Dr. Matthias Kasemannin. Kuvassa vasemmalta Tero Tuononen (CSC), CSC:n johtaja Kimmo Koski, Jukka Klem (HIP) ja Jorma Tuominiemi. (Kuva HIP)

CSC:n johtaja FT Kimmo Koski. Vieraat tapasivat CERNin tutkimusjohtajan Dr. Sergio Bertoluccin, Information Technology -osaston johtajan Dr. Frédéric Hemmerin ja vierailivat ALICE- ja CMS -koeasemilla.

Vuonna 2006 järjestettiin Helsingissä CERN School of Computing. Koulun pitkäaikainen johtaja Dr. Francois Flückiger otti v. 2004 syksyllä yhteyttä CMS-ohjelman ohjelmanjohtajaan ja ehdotti koulun järjestämistä Suomessa 2006. HIPin johto otti haasteen vastaan. Koulu järjestettiin Helsingin yliopiston Kumpulan kampuksella 21.8.–1.9.2006. Tämä jokavuotinen kesäkoulu oli ollut CERNin ohjelmassa vuodesta 1970. Koulun tarkoituksena on edistää nuorten hiukkasfysiikan tutkimuksessa toimivien tutkijoiden ja insinöörien korkean tason osaamista tieteellisessä laskennassa. Koulun ohjelmassa käsitellään tyypillisesti fysiikan, erityisesti hiukkasfysiikan tutkimuksessa esille tulevia haasteita ohjelmointiteknologioissa ja fysiikan analyysiin liittyvissä erityisongelmissa. Paikallisen järjestelykomitean puheenjohtajana toimi dos. Veikko Karimäki. Kouluun osallistui 81 osanottajaa eri puolilta maailmaa, viisi Suomesta. Koulun ohjelmaksi valittiin kolme ajankohtaista teemaa hiukkasfysiikan laskentatekniikoissa, ”Grid Technologies”, ”Software

CERN School of Computing 2006 Kumpulan kampuksella. Koulun johtaja Dr. Francois Flückiger eturivissä keskellä tummassa puvussa. Hänestä oikealle koulun suomalaisen järjestelykomitean jäsen, HIPin tohtoriopiskelja FM Aatos Heikkinen. (Kuva CERN)

Technologies" ja "Physics Computing". Opettajina toimi merkittävä joukko alan erikoisasiantuntijoita. Osallistujilla oli mahdollisuus osallistua myös koulun sisällöstä järjestettyyn tenttiin. Sen suorittamisesta oli mahdollisuus saada European Certificate of Credit (ECTS) -pisteitä, jotka eurooppalaisissa yliopistoissa voi muuttaa opintopisteiksi.

Hiukkasfysiikan kesäkoulun CERN toi Suomeen kolmannen kerran v. 2010. "The 2010 European School of High Energy Physics" järjestettiin CERNin ja JINR:n yhteisenä kesäkouluna yhteistyössä HIPin sekä Helsingin ja Jyväskylän yliopistojen fysiikan laitosten kanssa Raaseporissa 20.6.–3.7.2010. Koulun järjestelykomitean puheenjohtajana toimi Dr. Nick Ellis (CERN), joka oli tohtoriopiskelijana osallistunut Hangossa v. 2001 järjestettyyn CERN-JINR-kouluun. Paikallisen järjestelykomitean puheenjohtajana toimi professori Paula Eerola. Kouluun osallistui 105 opiskelijaa 25 maasta. CERNin pääjohtaja professori Rolf Heuer Ja Dr. Nikolai Rusakovich Dubnan tutkimuslaitoksesta (JINR) vierailivat koulussa ja pitivät esitelmät CERNin ja JINR:n tutkimusohjelmista.

Uusi professuuri 15. kokeellisessa hiukkasfysiikassa 2008

Vuonna 2006 RECFAn ja SABin pitkään jatkunut kritiikki vähäisestä hiukkasfysiikan professuurien määrästä Suomessa sai vihdoin vastakaikua. Helsingin yliopiston fysikaalisten tieteiden laitoksen (FTL) ja HIPin toimesta tehtiin aloite uuden professuurin perustamisesta kokeelliseen hiukkasfysiikkaan Helsingin yliopistossa. Professuuria esitettiin HIPin ja FTL:n yhteiseksi niin, että HIP maksaisi 45 % ja FTL 55 % kustannuksista. Valmistelut saatiin valmiiksi syksyllä 2006 ja laitosten johtajat professori Dan-Olof Riska ja professori Juhani Keinonen allekirjoittivat sopimuksen professuurin perustamisesta 14.11.2006. Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan Tiedekuntaneuvoston kokouksessa 15.3.2007 asetettiin viran täyttöä valmisteleva toimikunta, johon nimettiin professori Juhani Keinonen (pj.), professori Keijo Hämäläinen, professori Dan-Olof Riska, yliopistolehtori Eero Rauhala ja filosofian ylioppilas Hanna-Mari Kivinen.

Virkaa haki 13 henkilöä. Asiantuntijoiksi saatiin professori Barbara Badelek (Uppsalan ja Varsovan yliopistot), Dr. Gigi Rolandi (CERN senior scientist), ja Dr. Dieter Schlatter (CERN senior scientist). Asiantuntijalausuntoihin perehdyttyään virantäyttötoimikunta ehdotti, että virkaan katsottaisiin kelpoisiksi hakijat Paula Eerola, Monica Groethe (CERN) ja Ulrich Parzefall (Freiburgin yliopisto) ja heidät asetettaisiin ehdolle tässä järjestyksessä. Kokouksessaan 14.2.2008 Tiedekuntaneuvosto päätti ehdotuksen mukaisesti. Helsingin yliopiston kansleri nimitti Paula Eerolan virkaan 1.9.2008 lähtien.

Eerola siirtyi HIPin palvelukseen Lundin yliopistosta, jossa hän oli työskennellyt ATLAS-kokeessa v. 1998 lähtien, professorina vuodesta 2001. Hänen erityisosaamisalueensa on B-fysiikka. Eerola perusti virkaan astuttuaan CMS-ohjelmaan B-fysiikan tutkimusryhmän. Tutkijaryhmä aloitti v. 2010 ja siihen kuuluivat aluksi PhD Virginia Azzolini, joka oli väitellyt tohtoriksi Italiassa Ferraran yliopistossa ja tohtoriopiskelijana MSc Giacomo Fedi, joka oli valmistunut Firenzen yliopistosta. CMS-kollaboraatio valitsi Eerolan B-fysiikan Physics Analysis -ryhmän toiseksi vetäjäksi professori Jim Olsenin (Princeton) kahden vuoden kaudeksi.

HIPin johtokunta nimitti Eerolan CMS Tracker operations -projektin päälliköksi 1.1.2009–31.12.2009 ja CMS Experiment -projektin päälliköksi 1.1.2010–31.12.2010. Professori Jorma Tuominiemen siirtyessä eläkkeelle CMS-ohjelmanjohtajan tehtävästä 30.9.2010 Eerola nimitettiin CMS-ohjelman ohjelmanjohtajaksi 1.10.2010–31.9.2013.

16. Tieteellisen neuvottelukunnan suosituksia ja HIPin johtokunnan päätöksiä 2004–2012, RECFAn maavierailu 2010

HIPin aikajärjestyksessä kolmannen tieteellisen neuvottelukunnan nimittäminen tuli ajankohtaiseksi v. 2004. Sen jäseniksi saatiin Dr. Wolf-Dieter Schlatter (CERNin PH-osaston johtaja, pj.), professori Jos Engelen (CERNin tutkimusjohtaja), professori emeritus Heinrich Leutwyler (Bernin yliopisto, teoreettinen hiukkasfysiikka), professori Maurice Rice (ETH Zürich, teoreettinen materiaalifysiikka) ja professori Hans Specht (Heidelbergin yliopisto, kokeellinen raskasionifysiikka). Tällä kokoonpanolla SAB kokoontui Helsingissä 1.–2.6.2004 Helsingissä, 23.–24.5.2005 CERNissä ja 5.–6.6.2006 Helsingissä. Tässä vaiheessa syntyi käytäntö, jossa SABin puheenjohtajaksi pyrittiin saamaan CERNin PH-osaston johtaja.

SABin lausunnot vv. 2004–2006 kokeellisen hiukkasfysiikan projekteista olivat hyvin positiivisia. Huolta esitettiin vielä Tier 2 -ratkaisun toteutumisesta. CMS-koeaseman valmistumisen lähestyessä SAB ehdotti, että oli aika miettiä Tracker-projektin jatkoa. Ilmaisimien R&D-toimintaa pidettiin sille hyvänä perustana. SAB totesi tyydytyksellä TOTEM-kokeen MoU:n allekirjoittamisen v. 2006 ja TOTEMin T2-teleskooppien GEM (Gas Electron Multiplier) -ilmaisimien valmistumisen HIPin Ilmaisinlaboratoriossa. SAB toisti myös aiemman suosituksensa TOTEMin läheisestä yhteistyöstä CMS-kokeen kanssa. HIPin osallistuminen Fermilabin CDF-kokeeseen osallistuminen oli SABin mielestä ollut hyvä investointi, se oli tarjonnut mahdollisuuksia perehtyä top-kvarkin fysiikkaan ja poiki hyviä väitöskirja-aiheita. CDF-projektia oli nyt syytä alkaa ajaa alas, kun LHC-kokeet olivat käynnistymässä. Projektin resursseja ehdotettiin siirrettäväksi LHC-kokeisiin. Aloite uudesta kokeellisen hiukkasfysiikan professuurista Helsingin yliopistossa oli SABin mielestä merkittävä askel eteenpäin. ALICE-projektista SAB totesi tyydytyksellä, että sen jäseneksi oli vihdoin saatu raskasionifysiikkaan erikoistunut fyysikko. PhD Jan Rak oli siirtynyt Jyväskylän yliopistoon RHIC/PHENIX-kokeesta RHIC-törmäyttimeltä Brookhavenista. Ilmaisinlaboratorio oli saavuttanut kaksi tärkeää merkkipaalua, TOTEM-kokeeseen oli asennettu T2-teleskooppien GEM-ilmaisimet ja ALICE-koetta varten oli koottu 700 piinauhailmaisinmodulia Helsingissä FT Markku Oinosen johdolla.

SABin suosituksia seuraten HIPin johtokunta jatkoi ohjelmanjohtajien Heimo Saarikko, Jorma Tuominiemi, Juha Äystö ja Ari-Pekka Hameri nimityksiä vuosiksi 2005–2007. CMS:n Ohjelmistot ja fysiikka projektin päälliköksi määrättiin Veikko Karimäki 1.1.2005–31.12.2007, Hiukkasfysiikan ohjelman Etusuunta-projektin päälliköksi Risto Orava 1.1.2005–31.12.2007, Elektroni-positronifysiikan projektin päälliköksi Kenneth Österberg 1.1.2005–31.12.2006, Ydinaineohjelman ALICE-projektin päälliköksi FT Markku Oinonen 1.1.2005–31.12.2007 ja Teknologiaohjelman DataGrid–projektin päälliköksi FM Miikka Tuisku samalle ajalle. Ilmaisinlaboratorion päälliköksi nimitettiin professori Heimo Saarikko.

Vuonna 2007 oli taas uuden SABin vuoro, nyt jo järjestyksessä neljäs. Jäseniksi nimitettiin Dr. Wolf-Dieter Schlatter (CERNin PH-osaston johtaja, pj.), professori Jos Engelen (CERN, tutkimusjohtaja), professori Mats Larsson (Tukholman yliopisto, molekyylifysiikka), professori Heinrich Leutwyler (Bernin yliopisto), Dr. Heikki Sipilä (Oxford Instruments, chief scientist, ilmaisinteknologia) ja professori Johanna Stachel (Heidelbergin yliopisto, kokeellinen raskasionifysiikka). SAB kokoontui Helsingissä 14.–15.5.2007, 18.–19.8.2008 ja 25.–26.5.2009.

Lausunnoissaan vuosina 2007–2009 SAB totesi, että HIPin kontribuutiot CMS:n Keskusratailmaisimen TOB-osan ja RPC-liipaisujärjestelmän rakentamiseen sekä osallistuminen detektorien käynnistämiseen arvostettiin CMS-kollaboraatiossa korkealle. SA nosti esille myös H.I.P.-linjausalgoritmin soveltamisen ja CMS-ohjelman osallistumisen ratailmaisimien linjaukseen esimerkkeinä merkittävistä kontribuutiosta LHC:n käynnistymiseen valmistauduttaessa. Myös Software and Physics- ja Tracker-projektien ulkopuolinen arviointi oli tuonut selvästi esille, että HIP oli CMS-kollaboraation arvostettu jäsen. SAB katsoi osallistuminen upgrade-projekteihin suuren luminositeetin LHC:tä varten vielä hajanaisesti määritellyksi, mutta säteilynkestävien pii-ilmaisimien tutkimusta pidettiin oikean suuntaisena.

LHC-kokeiden alkamista silmällä pitäen SAB esitti huolensa CMS-kokeen fysiikan analyysiin osallistuvien tohtoriopiskelijoiden riittävästä määrästä. Kun LHC-kokeet olivat nyt alkamassa, pidettiin projektien uudelleenjärjestämistä tarkoituksenmukaisena. RPC-projektin jatkoa suositeltiin järjestettäväksi tuomalla Lappeenrannan yliopisto siihen kiinteämmin mukaan. R&D-projektien rahoitus näytti SABin mielestä vielä epäselvälle. Uuden ohjelmajohtajan, professori Paula Eerolan tekemiä ehdotuksia kannatettiin ja fysiikan analyysiaktiviteettien laajentamista B-fysiikkaan pidettiin hyvänä hankkeena. B-fysiikka liittyi loogisesti CMS-ohjelman aiempiin aktiviteetteihin, sillä b-kvarkkien tunnistamisessa tarvitaan hyvää osaamista hiukkasratojen rekonstruoinnissa ratailmaisimissa. SAB kannatti suunnitelmia yhdistää CMS- ja HEP -ohjelmat ja keskittää tutkimustoiminta LHC-kokeisiin.

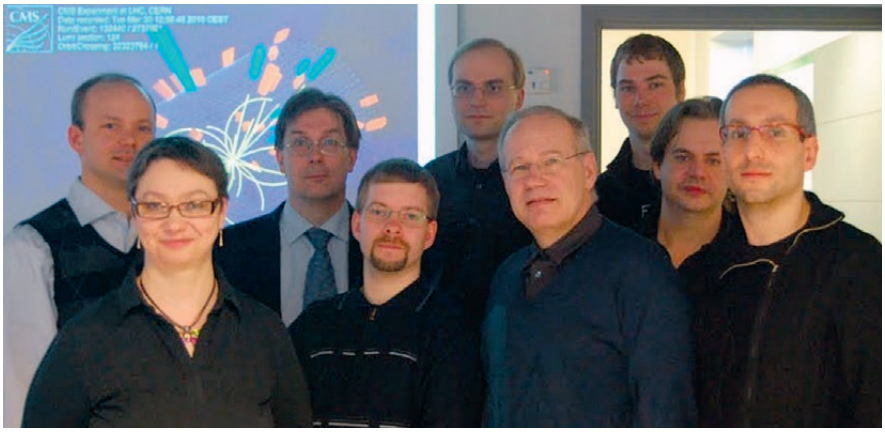
Ilmaisinlaboratoriota SAB piti tärkeänä osana kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimusta HIPissä, sen toiminnan hyvä koordinointi tieteellisen ohjelman tueksi oli tärkeää. HIPin TOTEM-projekti oli saavuttanut tärkeän välitavoitteensa toimittamalla ja asentamalla GEM-ilmaisimet T2-teleskooppiin. SAB totesi tyytyväisyydellä FT Kenneth Österbergin nimittämisen TOTEM-kokeen fysiikan koordinaattoriksi v. 2008 alusta. TOTEMin rahoituksesta SAB kantoi yhä huolta. HIPissä TOTEM-projekti oli osa HEP-ohjelmaa, mutta SABin mielestä TOTEMin oli vähitellen sulauduttava CMS-kokeen osaksi, vaikka tämä olikin lähinnä CERNin asia. ALICE-projektista SAB saattoi todeta, että se oli nyt PhD Jan Rakin johdolla saavuttanut näkyvän aseman ALICE-kokeessa. Jyväskylän yliopisto oli avaamassa kokeellisen fysiikan professuuria, mikä oli merkittävä vahvistus ALICE-projektille.

HIPin CMS-ohjelman henkilöstöä kokeiden alkuun valmistauduttaessa v. 2007. Eturivissä vasemmalta Tracker projektin johtaja TkT Eija Tuominen, CMS-ohjelman johtaja professori Jorma Tuominiemi, TkT Panja Luukka. Toisessa rivissä vasemmalta yo. Henri Moilanen, FM Lauri Wendland, FM Pekka Kaitaniemi, TkT Tapio Lampén. Kolmas rivi vasemmalta FM Aatos Heikkinen, FL Teppo Mäenpää, DI Matti Kortelainen. Neljäs rivi vasemmalta PhD Ivan Kassamakov, Software and Physics projektin johtaja dos. Veikko Karimäki, FT Tomas Lindén. Takarivi vasemmalta FT Sami Lehti, dos. Ritva Kinnunen, yo. Heikki Viljanen, TkT Jaakko Härkönen. (Kuva HIP)

HIPin johtokunta jatkoi kaikkien ohjelmanjohtajien nimityksiä vuosiksi 2008–2010. Hiukkasfysiikan ohjelman etusuuntafysiikan projektipäälliköksi nimitettiin Risto Orava. Hiukkasfysiikan ohjelmassa oli käynnistetty myös uusi, teknologinen projekti, lineaaritörmäytintutkimus, jonka päälliköksi nimitettiin dos. Kenneth Österberg. Ydinaineohjelman ALICE-projektin päälliköksi tuli PhD Jan Rak. Tutkimusohjelmien rahoitus pysyi vv. 2004–2009 varsin vakaana. Johtaja Riska oli onnistunut OPM:n kanssa käydyissä neuvotteluissa nostamaan HIPin budjetin takaisin v. 2000 tasolle. HEP-ohjelman budjetti vaihteli 370 000 € ja 415 000 € välillä, CMS-ohjelman 960 000 € ja 1 030 000 € välillä, Ydinaine-ohjelman 250 000 ja 320 0000 € välillä, Ilmaisinlaboratorion budjetti 120 000 € ja 170 000 € välillä. Tampereen Teknillinen yliopisto liittyi HIPin sopimusosapuoleksi 1.1.2009 lähtien.

LHC-kokeiden käynnistyttyä CMS-ohjelman projektit järjestettiin uudelleen. ”CMS-kokeen fysiikan analyysi” -projektin jatkoksi 1.1.2010–31.12.2012 perustettiin ”CMS-koe”-projekti, päälliköksi määrättiin Paula Eerola ajalle

1.1.2010–31.12.2010 ja Kati Lassila-Perini ajalle 1.1.2011–31.12.2012 Eerolan aloitettua CMS-ohjelman johtajana. Projektissa työskentelivät dos. Veikko Karimäki, dos. Ritva Kinnunen, TkT Tapio Lampén, FT Sami Lehti ja FT Tomas Lindén, postdoc-tutkijana PhD Virginia Azzolini, tohtoriopiskelijoina MSc Giacomo Fedi (GRASPANP-ohjelma 2011–2014), FM Pekka Kaitaniemi, DI Matti Kortelainen (GRASPANP 2008–2011) ja FM Joni Välimaa sekä adjungoituna vanhempana tutkijana dos. Jorma Tuominiemi. FT Tomas Lindén nimitettiin pysyvään toimeen laboratorioinsinööriksi 1.1.2010 alkaen.



HIPin CMS-ohjelman jäseniä v. 2010. Eturivissä vasemmalta CMS-ohjelman uusi johtaja professori Paula Eerola, FT Lauri Wendland, dos. Veikko Karimäki, FM Joni Välimaa ja MSc Giacomo Fedi. Takarivissä vasemmalta TkT Tapio Lampén, FT Tomas Lindén, DI Matti Kortelainen ja vaihto-opiskelija Klaus Steiniger. (Kuva HIP)

”CMS jälki-ilmaisimen operointi” -projektin jatkoksi perustettiin ”CMS-ilmaisimen toisen vaiheen valmistelu” ajalle 1.1.2010–31.12.2012. Projektin päällikköksi nimitettiin Jaakko Härkönen. Tässä projektissa työskentelivät PhD Sandór Czellár ja PhD Ivan Kassamakov, postdoc-tutkijoina TkT Panja Luukka ja TkT Esa Tuovinen sekä tohtoriopiskelijana FM Timo Peltola. Osa-aikaisena projektin kuului myös Ilmaisinlaboratorion koordinaattori TkT Eija Tuominen.

Vuonna 2010 oli uuden SABin muodostamisen vuoro. Ajalle 2010–2012 sen kokoonpanoksi tuli Dr. Philippe Bloch (CERN, PH-osaston johtaja, pj), professori Wilfried Buchmüller (teoreettinen hiukkasfysiikka, DESY), professori Jos Engelen (Netherlands Organization for Scientific Research, johtaja), professori Mats Larsson (Tukholman yliopisto), tutkimusprofessori Aarne Oja (VTT) ja professori Johanna Stachel (raskasionifysiikka, Heidelbergin yliopisto). Professori Stachel jätti SABin 1.1.2012 tultuaan valituksi Saksan Fyysikkoseuran puheenjohtajaksi. Hänen tilalleen saatiin professori Barbara Erazmus (CNRS, Ranska). SAB kokoontui 1.–2.6.2010, 30.–31.8.2011 ja 27.–28.8.2012 Helsingissä.

Tämä SAB sai seurata CERNin LHC-projektin menestyksellistä edistymistä törmäyttimen ja koeasemien valmistumisesta sekä kokeiden alkamisesta vuonna 2010 Higgsin bosonin löytymiseen vuonna 2012. Kautensa alussa neuvottelukunta onnitteli CMS-projektia ajojen menestyksellisestä aloittamisesta pitkän ja aktiivisen rakennusjakson ja valmistautumisen jälkeen. HIPin ryhmällä oli tässä tärkeä osansa ja se oli hoitanut vastuuhankkeensa täysipainoisesti. SAB totesi tyytyväisyydellä, että CMS-ohjelman johtajan vaihto oli sujumassa ilman ongelmia. Tähtäin oli nyt asetettava tulevaisuuteen ja huolehdittava siitä, että löytyy riittävästi lahjakkaita tohtoriopiskelijoita kokeiden pyörittämiseen ja fysiikan analyysiin. Valittu fysiikan alueiden yhdistelmä (lähinnä B-fysiikka ja sähkövarauksellisen Higgsin hiukkasen etsiminen) olivat tämänkin SABin mielestä edelleen hyvä ratkaisu, molemmat aiheet olivat tärkeitä uuden fysiikan etsinnässä ja takaisivat suomalaisten fyysikoiden näkyvyyden LHC-kokeissa. Suunnitelmat osallistua CMS:n pikseli-ilmaisimen ”Phase1”-uudistamiseen (aikatähtäin vv. 2016–2017 talviseisokki) sopivat hyvin HIPin resursseihin ja yhteistyökuvioihin suomalaisten firmojen kanssa. Ilmaisinkehitystyö takasi hyvät edellytykset CMS:n ”Phase2”-ratailmaisimien rakentamiseen osallistumiseen. Yhteenvetona HIPin CMS-projektista SAB totesi Higgsin hiukkasen löydyttyä, että LHC-projektin ensimmäinen tavoite oli saavutettu ja että HIPin ryhmän osallistuminen CMS:n rakentamiseen ja sen operointiin olivat olleet oleellisia saavutukseen pääsemiseksi. Tulevaisuuteen katsoessaan SAB korosti, että kolmas kokeellinen professuuri olisi tärkeää menestyksen jatkumiselle ja uusien tohtoriopiskelijoiden saamiselle mukaan CMS-kokeeseen.

TOTEM-projekti sai tältäkin SABilta kiitosta T2-teleskooppien GEM-ilmaisimien rakentamisen menestykselliseen loppuun viemisestä. TOTEM-kokeen ensimmäiset mittaukset oli tehty 2011 ja 2012 ja kokeen päätavoitteet oli saavutettu. Etusuunnan prosessien hiukkasmultiplisiteetti oli saatu mitattua paljolti HIPin pääosin rakentaman T2-spektrometrin ansiosta. Kokeen jatkosta v. 2014 lähtien (Run2) SAB kaipasi tarkempia selvityksiä. SAB totesi tyytyväisyydellä, että pohjoismaiset tiedehallinnot olivat ottaneet vastuun Nordic Data Grid Facility -resurssien pysyvästä rahoituksesta, mikä oli tärkeää CMS- ja ALICE-kokeiden jatkolle.

HIPin johtokunta päätti kokouksessaan 4.3.2010 jatkaa professori Dan-Olof Riskan kiinnitystä HIPin johtajana 1.7.2010–31.3.2012, hänen eläkkeelle siirtymiseensä saakka. Riska tuli näin toimineeksi HIPin johtajana 12 vuotta. Hän piti edeltäjänsä tavoin huolellisesti yllä yhteyksiä Opetusministeriöön ja Suomen Akatemiaan sekä HIPin jäsenkorkeakouluihin. HIPin toiminnan johtamisessa hän piti SAB:n roolia tärkeänä. Riska laajensi merkittävästi HIPin kansainvälistä näkyvyyttä. Hän oli aktiivinen CERNin Neuvoston jäsenenä ja varapuheenjohtajana sekä Resource Review Boardin jäsenenä, ja hänellä oli myös hyvät suhteet CERNin johtoon. Kansainvälisyyden edistämisessä auttoi varmasti se, että hän toimi asiantuntijana useiden ulkomaalaisten fysiikan instituuttien arviointikomiteoissa.

Riskan seuraajaksi johtokunta nimitti kokouksessaan 9.12.2011 professori Juha Äystön ajalle 1.3.2012–30.6.2016. Äystön nimityksestä johtuen Ydinaineen ohjelman johtajaksi kiinnitettiin 1.4.2012–31.12.2013 professori Matti Leino Jyväskylän yliopistosta.

Kokouksessaan 19.8. 2010 johtokunta päätti jatkaa hiukkasfysiikan ohjelmien johtajien Saarikko ja Äystö kiinnityksiä 1.1.2011–31.12.2013. Projektipäälliköitten kiinnityksistä päätettiin seuraavasti: TOTEM operointi -projektin päälliköksi nimitettiin professori Risto Orava 1.1.2011–21.12.2011, CMS koe -projektin päälliköksi PhD Katri Lassila-Perini 1.1. 2011–31.12. 2013 ja ALICE-kokeen projektipäälliköksi PhD Jan Rak 1.1.2011–31.12.2013. Ohjelmien budjetit vv. 2011 ja 2012 olivat seuraavat:

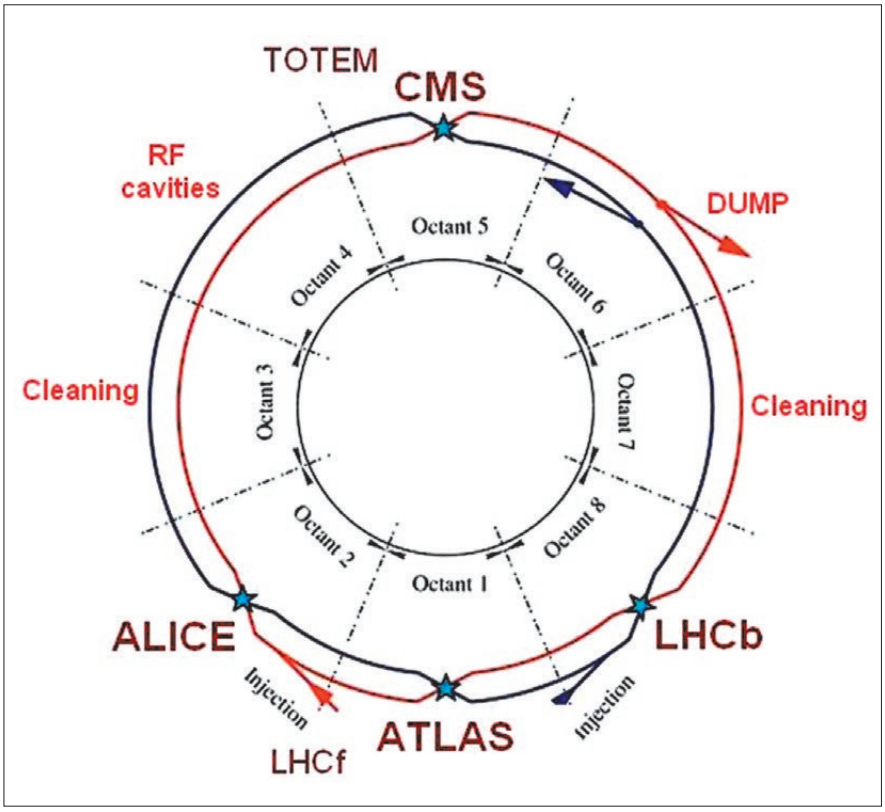
	€ / 2011	€ / 2012
Hiukkasfysiikan ohjelma	410 000	396 000
CMS-ohjelma	1 150 000	1 125 000
Ydinaineen ohjelma	340 000	340 000
Ilmaisinlaboratorio	170 000	183 000

Määrärahat olivat pysyneet samalla tasolla edellisiin vuosiin verrattuna. CMS-ohjelman budjetti oli Run1-ajojen käynnistyttyä noussut jonkin verran.

RECFA teki neljännen maavierailunsa Suomeen marraskuussa 2010 ECFAn puheenjohtajan, professori T. Nakadan (Lausannen yliopisto) johdolla. Kokeellisen hiukkasfysiikan osalta komitea totesi, että suomalainen osallistuminen suurenergiafysiikan projekteihin nauttii kansainvälisesti merkittävää arvostusta. Tutkimuksen rahoituksessa oli pientä nousua, varsinkin Helsingin yliopistossa. Pitkään toivotun uuden professuurin saaminen Helsingin yliopistoon ja HIPiin sai odotetusti RECFAn myönteisen huomion. Toivomuksena oli myös, että rahoitus nousisi edelleen menestyksen jatkumiseksi. Suomalaisten tutkijoiden kontribuutiot CMS- ja TOTEM-kokeissa olivat olleet näkyviä sekä laiterakennuksessa että fysiikan analyysissä. RECFA oli edelleen huolestunut pysyvien tutkimus- ja opetuspaikkojen vähyydestä Suomessa. Komitea otti esille tenure-track-menettelyn, joka voisi avata uusia uramahdollisuuksia nuorille tutkijoille. Lisäksi pysyvien paikkojen perustaminen insinööreille ja parhaille teknikoille olisi nopeasti kehittyvän ilmaisinteknologian vuoksi tarpeellista.

HIPin roolia komitea korosti ja esitti onnittelunsa Suomen tiedehallinnolle tehokkaan organisaation perustamisesta. HIP on vienyt suomalaista tutkimusta hiukkasfysiikan eturiviin ja on menestystarina, josta Suomi voi olla ylpeä. HIPin toiminta on auttanut myös suomalaista teollisuutta hyödyntämään CERN-jäsenyyttä. Lopuksi RECFA esitti, että menestyksen takaamiseksi pitkällä tähtäimellä Suomi näyttäisi tarvitsevan kokeellisen hiukkasfysiikan suurten ja pitkäaikaisten projektien tukemiseksi nykyistä pysyvämpiä rahoitusjärjestelmiä.

17. CERNin LHC-törmäyttimen rakennustyöt 2000–2009



LHC-törmäyttimen kaaviokuva. Oktantissa 1 sijaitsee ATLAS-koeasema, oktantissa 2 ALICE-koeasema, oktanteissa 3 ja 7 protonisuihkujen muotoiluun tarvittavia magneetteja ja kollimaattoreita, oktantissa 4 suihkujen kiihdytyselementit, oktantissa 5 CMS-koeasema, oktantissa 6 protonisuihkujen ulosohjaus ja pysäytysabsorbaattorit, oktantissa 8 LHCb-koeasema. Suihkujen sisäänohjaus tapahtuu oktanteissa 2 ja 8. LHCb-kokeessa tutkitaan b-kvarkkien tuottoa. (Kuva CERN)

LHC:n taivutusmagneettien valmistus käynnistettiin v. 2000 kolmessa teollisuuslaitoksessa, Alsthom-Jeumontin tehtailla Ranskassa, Ansaldo Superconduttorin tehtailla Italiassa ja Babcock-Noellin tehtailla Saksassa. Ensimmäinen dipolimagneetti toimitettiin CERNiin maaliskuussa 2001.

Vuonna 2001 tehtiin väliarvio LHC:n rakennuskustannuksista. Se yllätti CERNin johdon, sillä arvio oli 475 milj. Sveitsin frangia (18 %) suurempi kuin v. 1996 LHC:n rakentamisesta päätettäessä tehty arvio (2 593 milj. Sveitsin frangia v. 2001 hinnoissa). Syitä ylitykseen löytyi useita, mutta näytti siltä, että unohduksessa olivat erityisesti olleet rakennusvaiheen aikana tarvitun R&D-toiminnan kustannukset. Jälkikäteen on arveltu, että unohdus oli ehkä tarkoituksellinen – rakennuspäätös v. 1996 ei ollut helppo hankkeen kalleuden vuoksi. Kun päätös LHC:n rakentamisesta tehtiin, CERNin

LHC:n dipolimagneetteja testipenkeissä CERNissä vv. 2000–2005. (Kuva CERN)

Neuvosto leikkasi samalla CERNin budjettia 10 %. Aloitettiin myös henkilökunnan supistamisohjelma, henkilökuntaa vähennettiin rakennustöiden kuluessa 30 %. Vuoden 2001 uuden kustannusarvion synnyttämässä epäluottamuksen ilmapiirissä CERNin Neuvosto päätti joulukuussa 2001, että CERNin oli organisoitava toimintaansa niin, että puuttuvat rahat löytyvät vuosibudjeteista – lisärahoitukselle ei annettu toivoa. Samalla Neuvosto asetti CERNin ulkopuolisista asiantuntijoista koostuvan työryhmän (External Review Committee, ECR) tutkimaan, mitä oli mennyt vikaan ja tekemään ehdotuksia siitä, miten pulmasta selvittäisiin. Komitean puheenjohtajaksi pyydettiin professori Robert Aymar, joka toimi tuolloin kansainvälisen ITER-fuusiovoimalaprojektin johtajana. ECR:n puheenjohtajuus lienee vaikuttanut siihen, että Aymar valittiin v. 2004 CERNin seuraavaksi pääjohtajaksi.

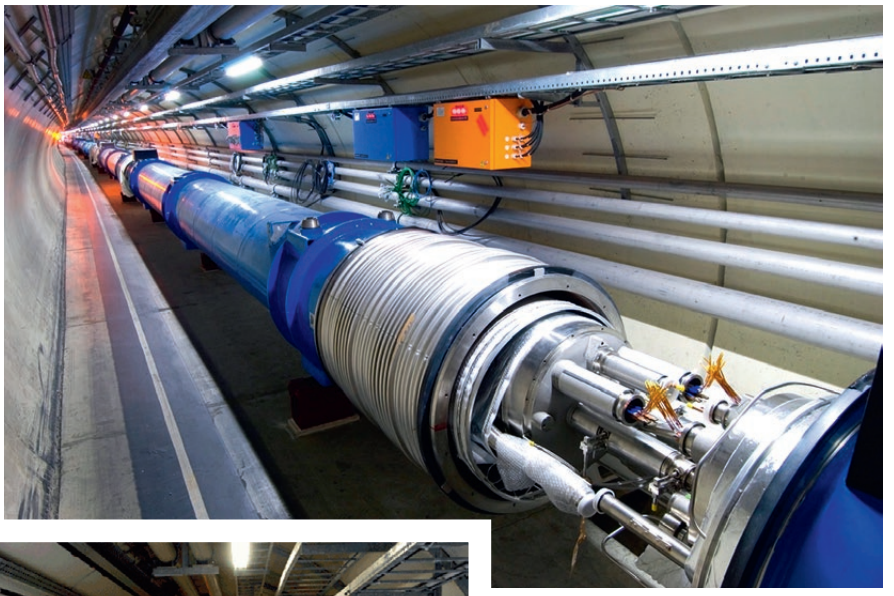
CERNin johto ryhtyi tutkimaan, miten voimavaroja voitaisiin järjestää uudelleen puuttuvien resurssien löytämiseksi. Johdon esittämät ratkaisut olivat lopulta hyvin samanlaisia kuin ERC:n tekemät ehdotukset. Juhannuksena 2002 CERNin Neuvosto pyysi CERNin johtoa laatimaan ehdotusten pohjalta uuden keskipitkän tähtäimen toimintasuunnitelman. Uusi suunnitelma sisälsi LHC:n käynnistämisen lykkäämisen yhdellä vuodella vuoteen 2007 ja kaikkien CERNin kiihdyttimien seisokin vuoden 2005 ajaksi. Lisäksi useita kiinteän kohtion kokeita oli lopetettava v. 2005 mennessä. CERN vetäytyi myös pois OPERA-kokeesta Gran Sasson laboratoriossa. Myös lisälainaa otettiin ja vanhojen lainojen maksuaikoja saatiin pidennettyä. Euroopan kehityspankki oli tässä pääapuna. Suunnitelma sisälsi nyt 150 milj. Sveitsin frangin vararahaston yllättäviä ylityksiä varten.

Ensimmäiset dipolimagneetit laskettiin LHC-tunneliin maaliskuun alussa v. 2005. (Kuva CERN)

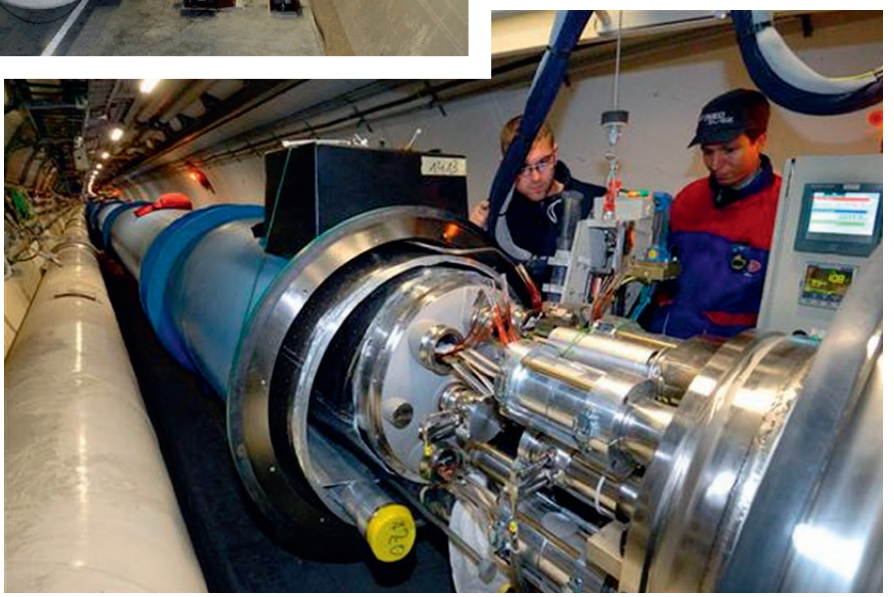
LHC:n taivutusmagneettien valmistus sujui lähes suunnitelmien mukaisesti, mutta ongelmiakin esiintyi. Ansaldo joutui vaikeuksiin suprajohtavan langan tuotannossa, jolloin apuun haettiin alkuperäisessä tarjouskilpailussa hävinnyt Outokumpu Oyj. Se toimitti nyt langan yhden LHC:n oktantin magneettien suprajohteisten käämien rakentamiseen. Kaikkien dipolimagneettien toiminta

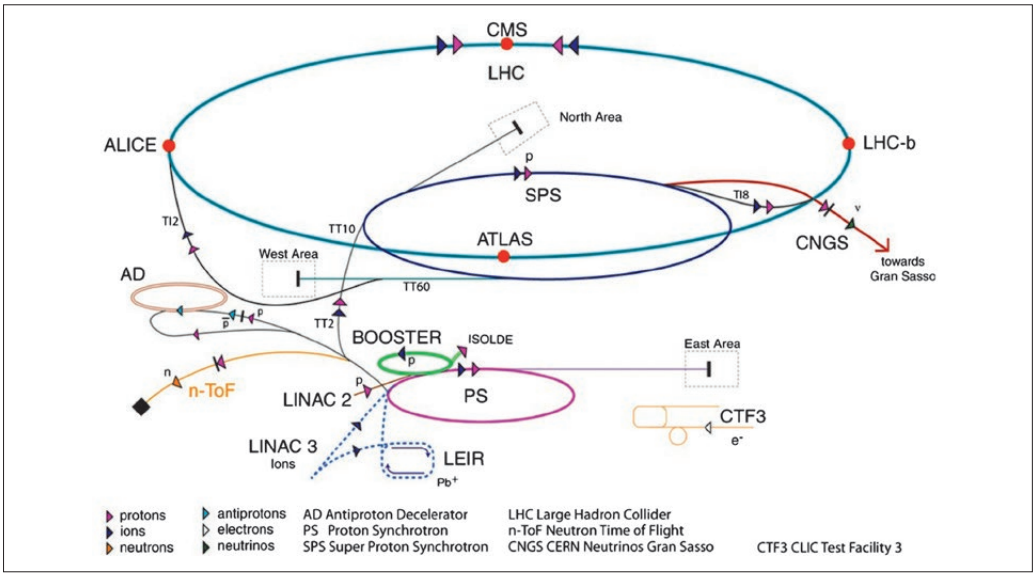
Viimeinen dipolimagneetti laskeutumassa LHC-tunneliin 26.4.2007. (Kuva CERN)

testattiin CERNiin rakennetuissa testipenkeissä, jossa ne jäähdytettiin 1,9 K lämpötilaan ja treenattiin 8,5 T magneettikenttään. Ensimmäinen magneetti laskettiin LHC-tunneliin maaliskuun alussa 2005. Magneettien tuotantovauhti ei kuitenkaan riittänyt siihen, että LHC olisi ollut valmis keväällä 2007, kuten oli suunniteltu. Viimeinen 1232 tarvitusta dipolimagneetista saatiin testattua 1. maaliskuuta 2007 ja laskettiin tunneliin 26. huhtikuuta 2007. Kaikki asennustyöt saatiin valmiiksi vuoden 2007 lopussa. Suprajohteisten magneettien jäähdytys 1,9 K lämpötilaan tunnelissa aloitettiin vv. 2007–2008 talviseisokin jälkeen ja saatiin päätökseen keväällä 2008. Kesällä 2008 LHC oli siis valmis testeihin. Viimeiset tarkistukset tehtiin kesän 2008 lopulla ja ensimmäiset kokeilut suihkujen syöttämisestä kiihdyttimiin suunniteltiin tehtäväksi syyskuun alussa 2008.



Dipolimagneettien asennusta LHC-tunnelissa 2005–2007. (Kuva CERN)





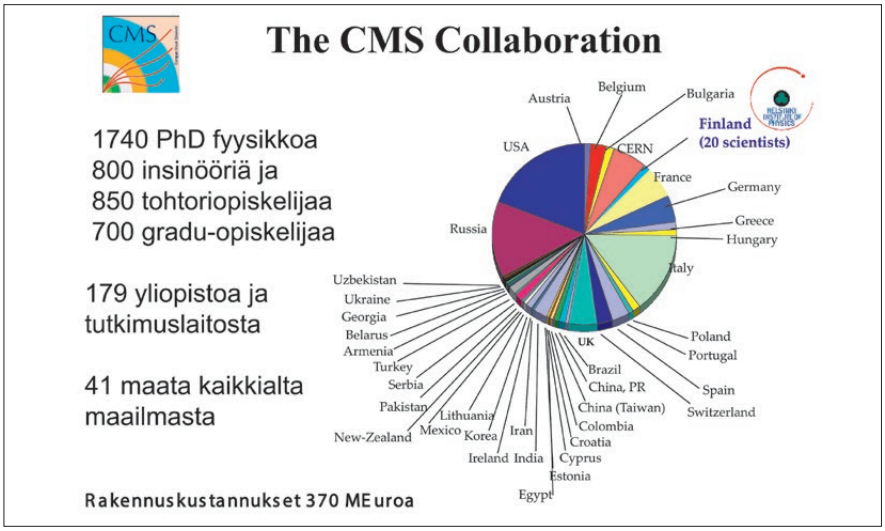
CERNin kiihdytinjärjestelmä vuonna 2012. LHC-kokeissa protonit lähtevät matkaan lineaarikiihdyttimestä LINAC2, jossa ne saavat 50 MeV:n energian. Seuraavaksi ne kiihdytetään suurempaan energiaan BOOSTER-, PS- ja SPS-synkrotroneissa. SPS:stä ammutaan kaksi 450 GeV:n protonisuihkua vastakkaisiin suuntiin LHC-törmäytintä kiertämään. LHC:ssä protonit kiihdytettiin v. 2012 6,5 TeV:n energiaan, minkä jälkeen ne ”varastoitiin” kiertämään LHC:ssä tällä energialla ja ohjattiin kulkemaan toistensa läpi koeasemien (ALICE, ATLAS, LHCb ja CMS) keskellä. Varastointiaika on tyypillisesti 20 tuntia, minkä jälkeen prosessi aloitetaan alusta. (Kuva CERN)

LHC-magneetit asennettuna kesällä 2007. (Kuva CERN)

18. LHC-koeasemien rakentaminen käynnistyy v. 2001

18.1. CMS:n hallinto järjestäytyy

CMS-kokeen prototyyppivaiheen päätyttyä ryhdyttiin valmistautumaan koeaseman rakentamiseen. Sitä varten oli viimeisteltävä sopimus projektin hallinnosta ja laitteiston vuotuisista huolto- ja käyttökustannuksista (maintenance and operation, M&O) -kuluista. LHC-kokeiden hallinnointi on haastava tehtävä. CMS-kokeessa on yli 3000 rekisteröityä jäsentä, fyysikoita, insinöörejä, post-doc-tutkijoita, tohtoriksi opiskelevia ja maisteriksi opiskelevia. Kollaboraatiossa v. 2012 oli 180 jäseninstituuttia 41 maasta.



CSM-kollaboraatio v. 2012.

CMS-koeasema on suuri ja monimutkainen laitteisto, jonka rakentaminen ja ajaminen vaativat huomattavaa organisaatiota. CMS:n hallinnon järjestämisessä täydennettiin prototyyppivaiheessa käytössä ollutta organisaatiota. Hallintomalli kirjattiin säännöstöksi (CMS constitution), jonka ensimmäinen versio hyväksyttiin v. 2000.

Päätösvaltaa CMS-kollaboraatiossa pitää Collaboration Board (CB), joka jäseninä ovat osallistujainstituuttien CMS-projektin johtajat. CERN on yksi osallistujainstituutti. CB valitsee puheenjohtajansa vaalilla jäseninstituuttien nimeämien ehdokkaiden joukosta. Puheenjohtajakausi on kaksi vuotta. Toimeenpanovalta CMS-kollaboraatiossa on Johtoryhmällä (Management Board), jonka puheenjohtajana toimii kollaboraation puhemies/puhenainen (Spokesperson, SP). SP toimii CMS-kokeen edustajana. CB valitsee SP:n vaalilla kahdeksi vuodeksi. SP nimittää yhdessä CB:n kanssa avukseen fysiikan koordinaattorin ja teknisen koordinaattorin, joista jälkimmäisen on CERNin sääntöjen mukaan kuuluttava CERNin henkilökuntaan. MB koostuu CMS:n koordinaattoreista, alidetektoreiden projektinjohtajista ja CMS:n jäsenmaiden

edustajista. Päivittäistä toimintaa varten MB:n apuna on pienempi Executive Committee (EB), joka kokoontuu useammin kuin MB. Kollaboraation rahoitusasioita koordinoi Finance Board, jossa on yhteyshenkilö kustakin CMS:n jäsenmaasta.

MB:ssä Suomi kuuluu alueellisesti CERNin ”pienten” jäsenmaiden kiintiöön (Belgia, Espanja, Itävalta, Kreikka, Puola, Portugali, Suomi ja Unkari), josta valitaan yksi edustaja MB:hen. Jorma Tuominiemi ja Paula Eerola ovat toimineet MB:ssä tämän kiintiön edustajina, Jorma Tuominiemi 1998–2010 ja Paula Eerola 2010–2014. Finance Boardissa Suomen edustajana vv. 1995–2010 toimi Jorma Tuominiemi, v. 2010 jälkeen Paula Eerola.

CB:llä on useita alikomiteoita, jotka hoitavat erilaisia tehtäviä CMS:n säännöstön mukaisesti. Sellaisia ovat mm. Conference Committee, joka valitsee puhujat eri konferensseihin ja tieteellisiin kokouksiin ja Publication Committee, joka huolehtii tieteellisten julkaisujen valmistusprosessista.

Alidetektoreilla on oma hallintonsa CMS:n mallin mukaan (Institute Board, Management Board, Finance Board, koordinaattorit). Keskusrata-ilmaisin-komiteoissa toimii HIPin tutkijoita.

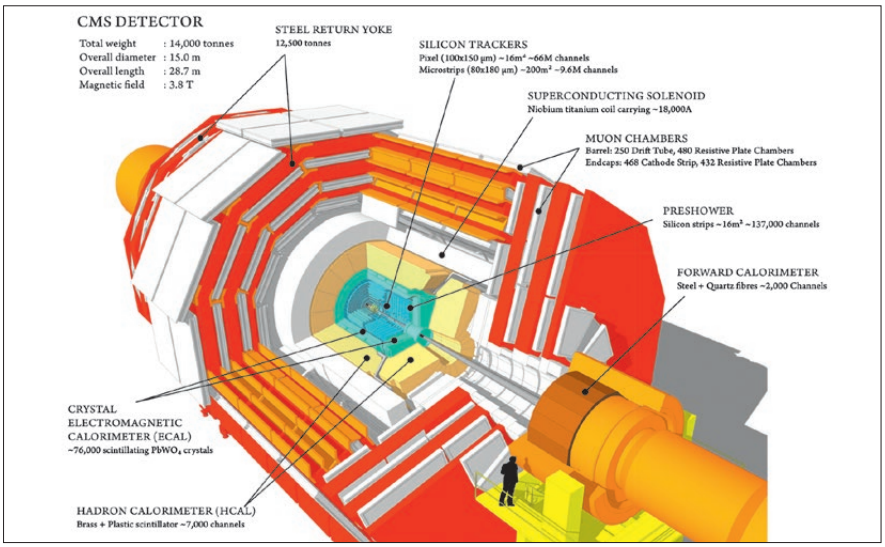
CMS:n vuosibudjetti kattaa kokeen huolto- ja käyttökustannukset (M&O). Niistä sovittiin aluksi, että kukin instituutti osallistuu kustannuksiin suhteessa ilmoittamiensa kokeen jäsenien määrään. Kokeitten alkaessa v. 2010 tätä tarkennettiin koskemaan tieteelliset julkaisut allekirjoittavien tohtori-tason tutkijoiden määrää. Suomalaisten instituuttien (HIP, Helsingin yliopiston fysiikan laitos, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu) allekirjoittajien määrä on ollut 14–16 tutkijaa (n. 1 %). HIPin vuotuiset M&O-budjetit ovat olleet 150–250 kCHF, noin CMS:n 1 % vuosibudjetista. Tieteellisten julkaisujen allekirjoitusoikeuksista on Constitution-säännöstössä omat pykälänsä. Asiaa koordinoimaan perustettiin v. 2006 CB:n alikomitea Authorship Board. Jorma Tuominiemi toimi Authorship-komitean puheenjohtajana 2006–2012 ja jäsenenä 2012–.

CERNin ja LHC-kollaboraatioiden yhteyselimenä toimivat kokeiden Resource Review -komiteat (RRB), joiden puheenjohtajana on CERNin tutkimusjohtaja. Jäseninä ovat kollaboraatioiden jäsenmaiden rahoittajahallinnon (funding agencies) asettamat edustajat, CERNin johtoa ja kollaboraatioiden johto. RRB:t valvovat MoU-sopimusten toteuttamista ja vahvistavat LHC-kokeiden vuotuiset käyttöbudjetit. Suomen osalta rahoittajahallinnon edustajana toimii OKM:n asettamana HIP. Sen edustajana CMS:n, ALICEn ja WLGC:n RRB:ssä ovat toimineet HIPin johtajat, professorit Eero Byckling, Dan Olof Riska, Juha Äystö ja Paula Eerola. RRB tarjoaa erinomaisen foorumin rahoitushallinnon edustajille kollaboraatioiden työn seuraamiseen. Komitea kokoontuu kaksi kertaa vuodessa, huhtikuussa ja lokakuussa. Kollaboraatioiden vuosibudjettiesitykset hyväksytään lokakuun kokouksessa.

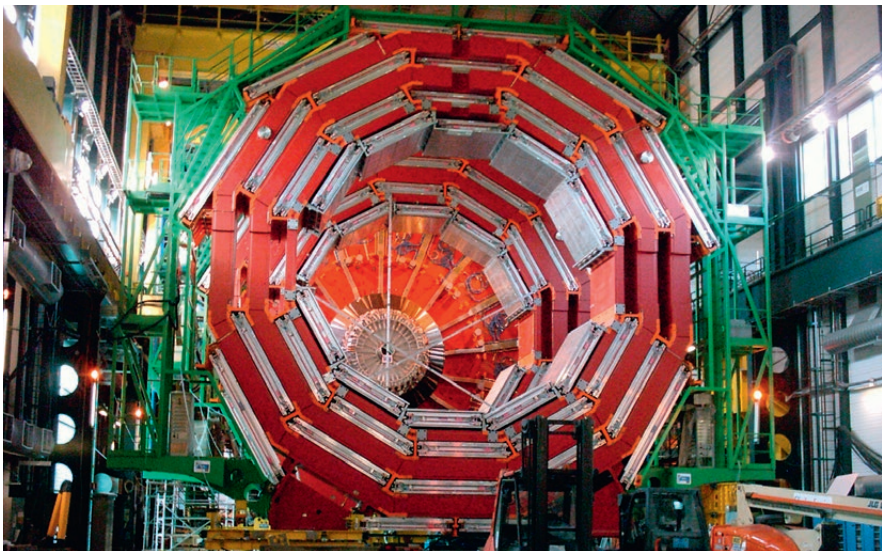
18.2. CMS-koeaseman rakennustyöt 2001–2008

Teknisesti vaativat rakennustyöt lähtivät käyntiin v. 2001. ATLAS-koe sijoitettiin aiemmin kaivettuun maanalaiseen LHC:n Point1-halliin, jonka varustaminen koetta varten saatiin valmiiksi v. 2003. CMS-koeasemaa varten jouduttiin kaivamaan kokonaan uusi luola Point5-asemalle, joka valmistui vasta v. 2004. Näin ollen CMS-koeasema koottiin suurimmaksi osaksi maan pinnalle rakennetussa hallissa vv. 2001–2006. Sen osat laskettiin koeasemaluolaan 3000 tonnin telakkanosturilla v. 2006 kesästä alkaen.

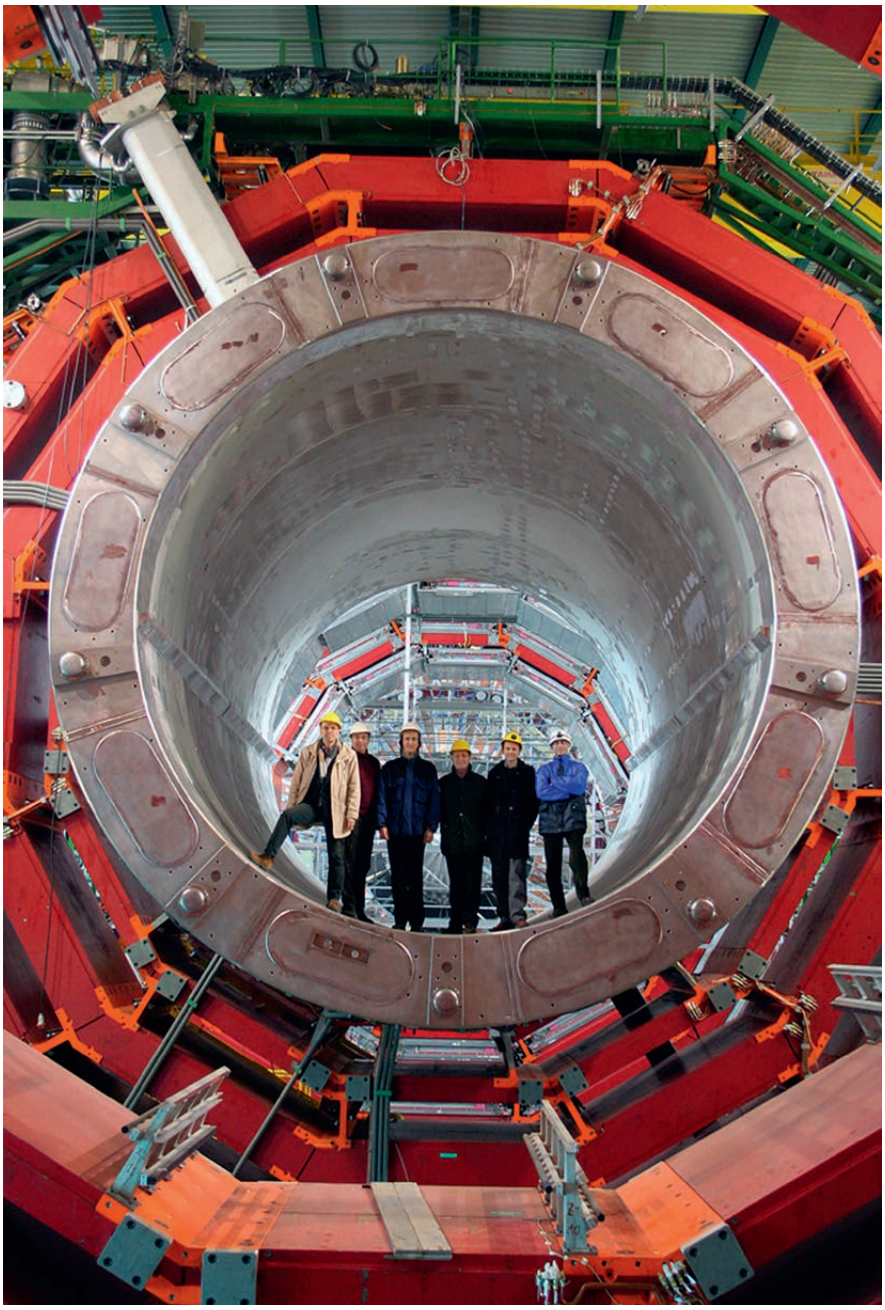
Point5-aseman rakennustöitten alku v. 1999. Point5 sijaitsee Ranskan puolella rajaa Cessyn kylän lähellä. Taustalla siintää Geneven järvi. Korkea rakennus on Point5-halli, jonka alapuolella sijaitsevat maanalaiset koeaseman luola (UCX) ja luola, jonne koeaseman ulkopuolinen elektroniikka on sijoitettu (UCS). (Kuva CERN)



CMS-koeaseman kaaviokuva v. 2007. Sisimpänä on keskusratailmaisin (sininen), sen ympärillä sähkömagneettinen kalorimetri (vihreä), seuraava sylinteri on hadronikalorimetri (keltainen), seuraava sylinteri (valkoinen) on suprajohteinen solenoidimagneetti, ja sen ympärillä magneetin vuonpalautin (punaiset sylinterit). Vuonpalauttimen lomassa myoni-ilmaisimet (oranssi). Koeaseman päätyosissa toistuu sama rakenne. (Kuva CMS)

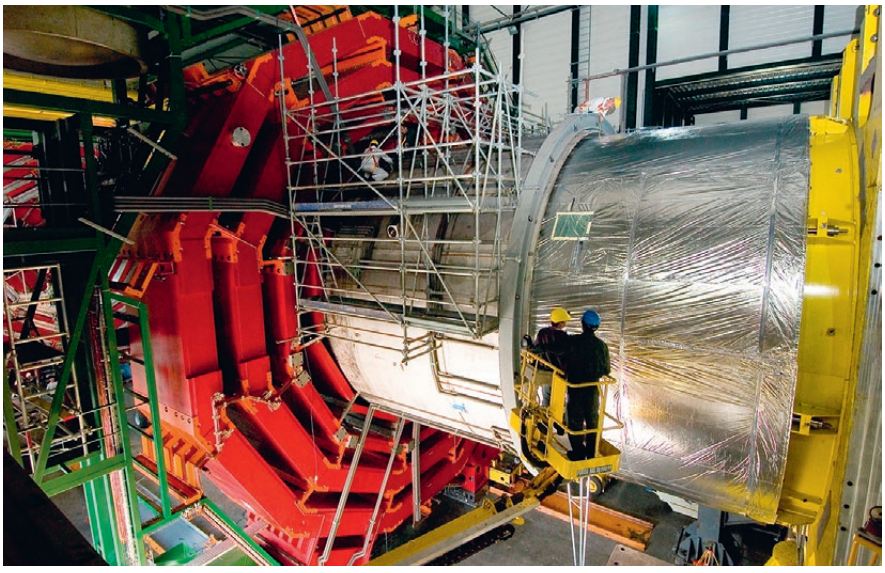


CMS-koeaseman magneetin teräs-vuonpalautin (punaiset osat) koottavana maanpäällisessä P5-rakennushallissa v. 2001. Kuvassa näkyvät myös harmaina koteloina vuonpalauttimen lomaan asennetut myonien mittaukseen käytetyt monilankakammiot. (Kuva CERN)

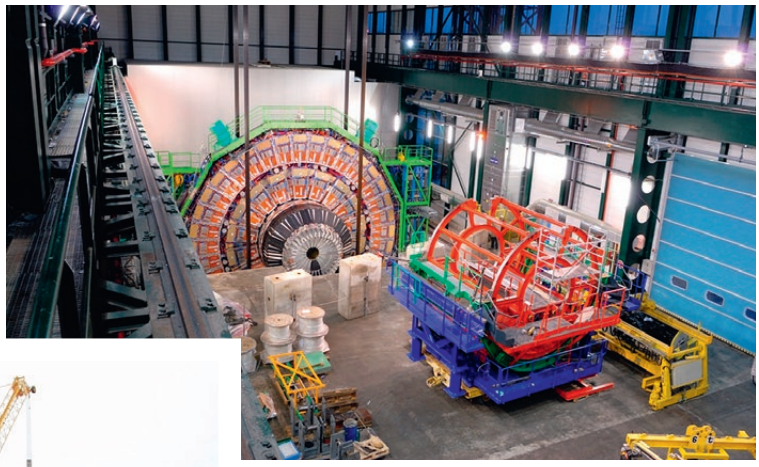


CMS:n solenoidimagneetti asennettuna vuonpalauttimen sisään helmikuussa 2006. Solenoidi synnyttää sisäpuolelleen homogeenisen 3,9 Teslan kentän. Se on suprajohteinen, johteiden lämpötila on 4,8 K. Magneetin suprajohtava lanka on valmistettu Suomessa Pori Copperin tehtailla (Outokumpu Advanced Superconductors). Kelat on valmistanut Ansaldo Superconduttori Italiassa. (Kuva CERN)

Johtaja Rauno Liikamaa (Outokumpu Advanced Superconductors) vastaanottaa CMS:n Crystal Award -teollisuuspalkinnon CERNissä v. 2002. Palkinnon aiheena oli "Production of High Quality Superconducting Strands for the Coil of the CMS Magnet". Palkintoa luovuttamassa CMS:n Collaboration Boardin puheenjohtaja professori Lorenzo Foá (oik.). (Kuva CERN)



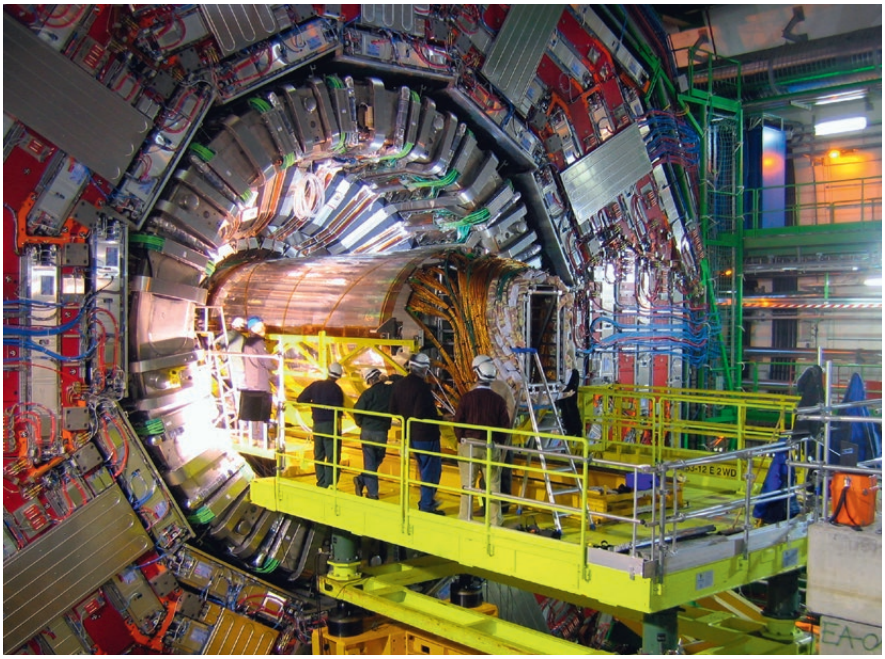
CMS-koeaseman solenoidimagneetin asennus vuonpalauttimen sisään v. 2006. (Kuva CERN)



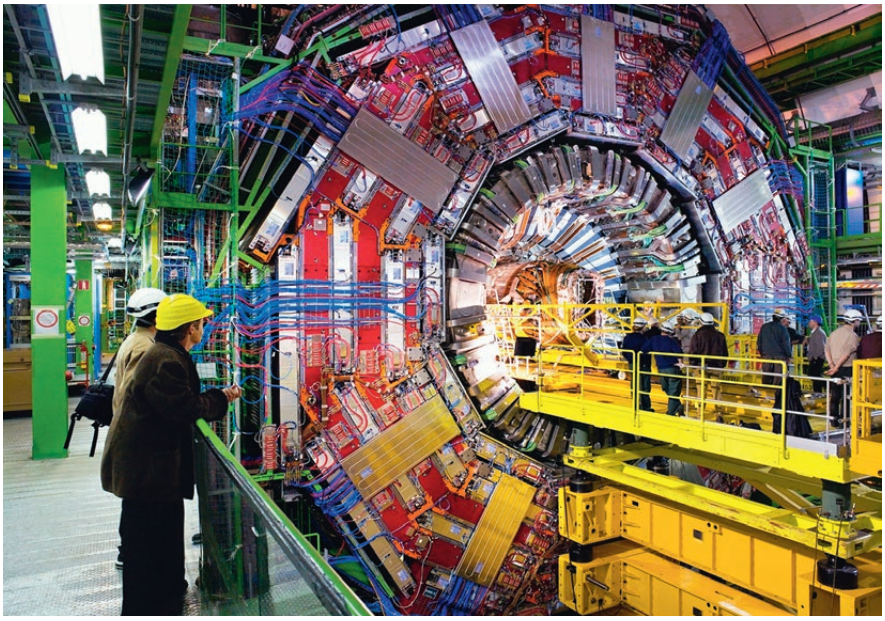
CMS-koeaseman osa laskeutumassa alas koeasemaluolaan telakkanosturin kannattelemana v. 2007 alussa. (Kuva CERN)

P5-hallin 3000 tonnin telakkanosturia rakennetaan v. 2005. (Kuva CERN)

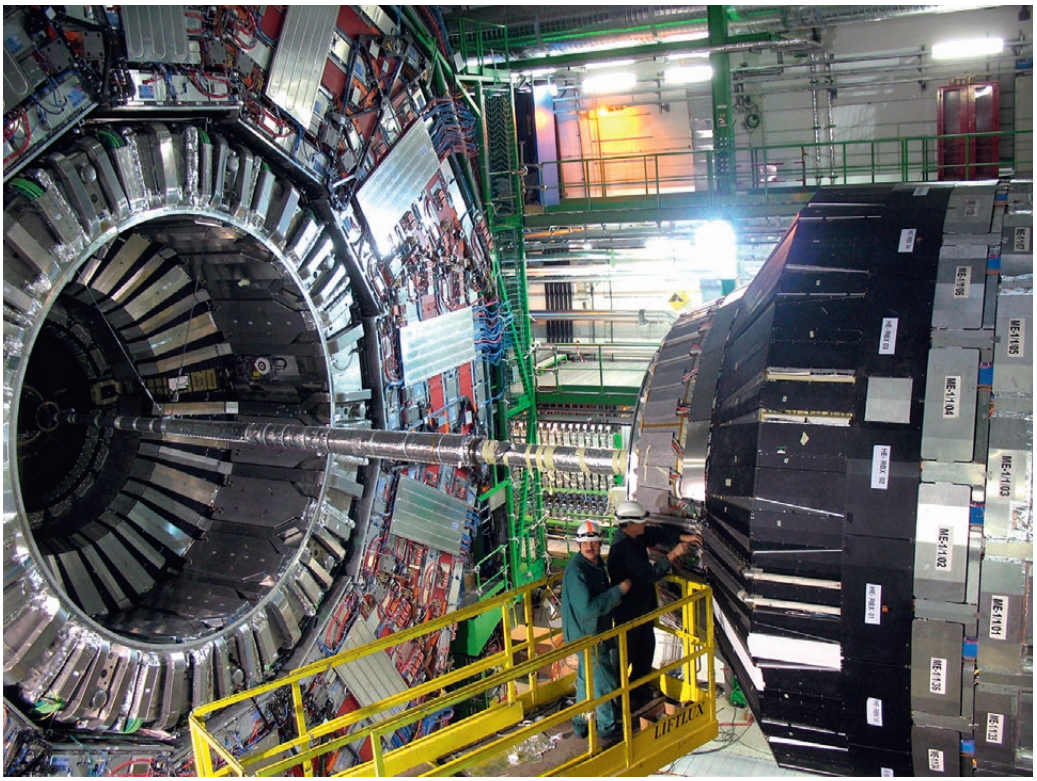
FT Lauri Wendland CMS:n luolassa koeaseman rakennusvaiheessa. (Kuva CERN)



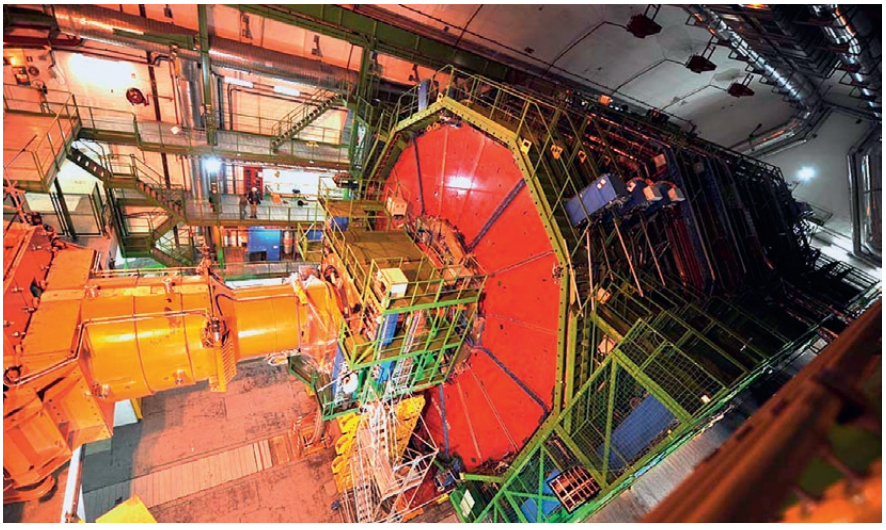
CMS:n keskusratailmaisinta asennetaan koeaseman sisään joulukuussa 2007. (Kuva CERN)



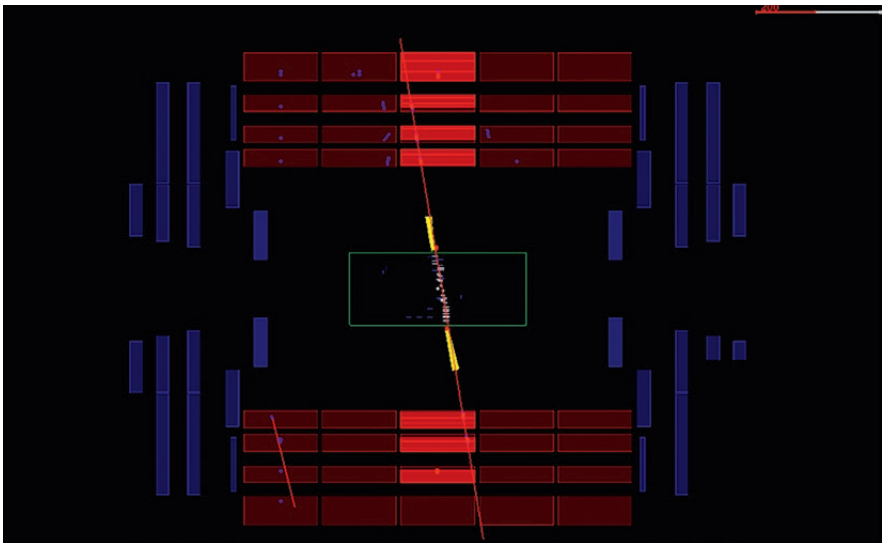
CMS-koeasema koeluolassaan 16.12.2007. Keskusratailmaisin on juuri asennettu paikalleen koeaseman keskelle. Koeaseman päätyosat ovat erillään kuvan ulkopuolella (Kuva CERN)



CMS-koeasemaa suljetaan heinäkuussa 2008. Oikealla koeaseman päätyosa, jota ollaan työntämässä tynnyriosan sisään. LHC-kiihdyttimen suihkuputki näkyy keskellä. (Kuva CERN)



Heinäkuun puolivälissä v. 2008 CMS-koeasema suljettiin valmiina rekisteröimään törmäyksiä. CMS-koeasema suljettuna. (Kuva CERN)

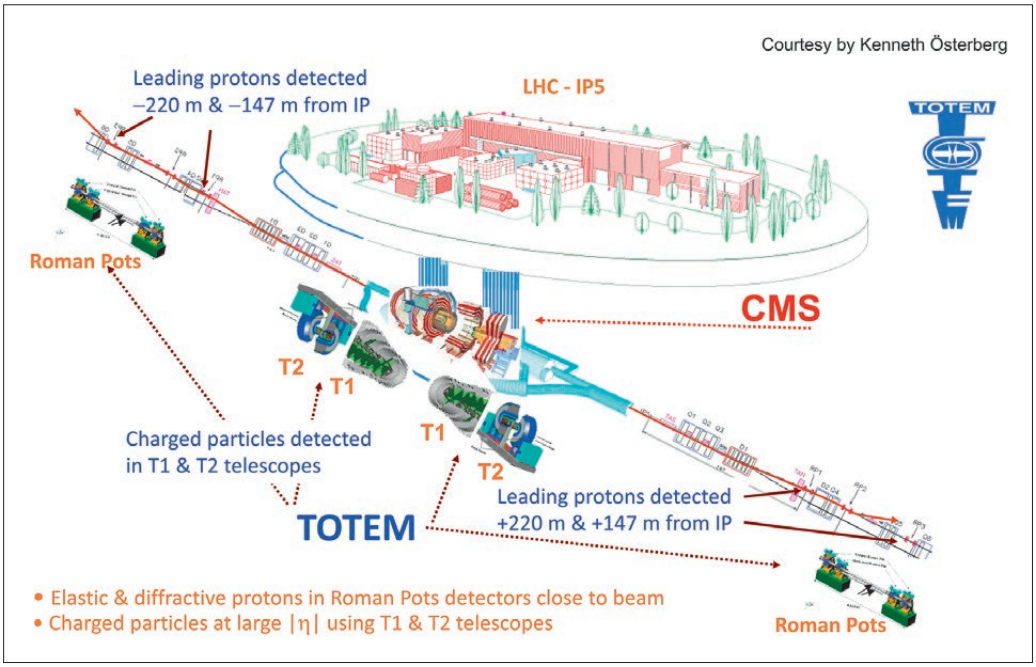


Koeasemaa testattiin elokuussa 2008 mittaamalla kosmisen säteilyn myoneja. Kaikki toimi! Kuvassa kosmisen myonin rata rekisteröitynä juuri käynnistetyllä CMS-koeasemalla elokuussa 2008. (Kuva CMS collaboration)

18.3. TOTEM-kokeen asennustyöt 2006–2009

TOTEM-kollaboraatio toimitti projektin Technical Design Report-dokumentin CERNin LHC-komitealle tammikuussa 2004. HIP oli v. 2002 liittynyt kollaboraation jäseninstituutiksi. LHC-komitea näytti hankkeelle vihreää valoa, ja CERNin johto hyväksyi heinäkuussa TOTEM-kokeen CERNin LHC-tutkimusohjelmaan. Memorandum of Understanding (MoU) allekirjoitettiin v. 2006. Kokeen tavoitteiksi asetettiin pp-törmäysten kokonaisvaikutusalan ja elastisen sironnan differentiaalisen vaikutusalan mittaaminen sekä inelastisten ja diffraktiivisten prosessien tutkiminen LHC-törmäyttimellä. Koelaitteisto sijoitettiin CMS-koeaseman yhteyteen tarkoituksella yhdistää CMS:n ja TOTEMin antamaa mittaustietoa inelastisen etusuunnan fysiikan tutkimiseksi. TOTEMin puhemiehenä toimi Dr. Karsten Eggert CERNistä.

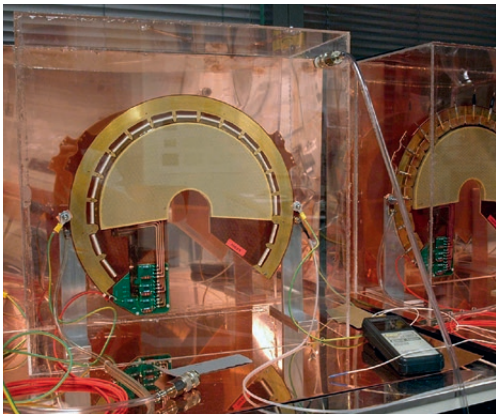
TOTEM-koelaitteisto koostuu äärimmäiseen etusuuntaan siroavia protoneja mittaavista, 147m ja 220m päähän pp-törmäyspisteestä sijoitetuista Roman Pot -ilmaisimista ja CMS-koeaseman molemmille puolille sijoitetuista T1- ja T2-hiukkasteleskoopeista, joilla mitataan törmäyksessä syntyneiden sähkövarauksellisten hiukkasten radat. Roman pot -detektorit ovat ilmaisinyksiköitä, joissa piinauhailmaisin voidaan työntää LHC:n tyhjiöputken sisään hyvin lähelle protonisuihkuja. Tavoitteena on mitata pp-törmäyksissä hyvin pieneen kulmaan sironneet protonit.



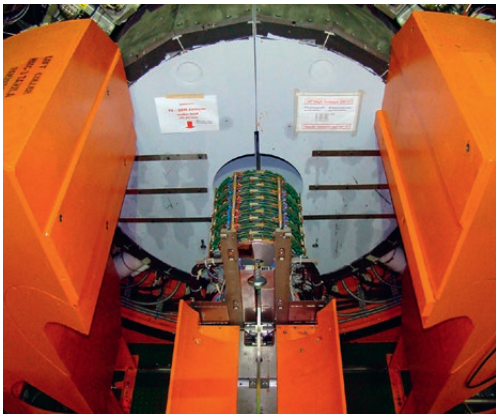
TOTEM-kokeen layout (Kuva Kenneth Österberg, Risto Orava)

Etusuunnan protonien sirontakulman tarkkaa mittausta varten törmäävien protonien liikemäärävektoreiden on oltava erittäin tarkasti yhdensuuntaisia, kulmahajonnan on oltava vain mikroradiaanin luokkaa. Tämä vaatii LHC-kiihdyttimeltä toimintamoodia, jossa protonisuihkujen poikkileikkaus törmäyspisteessä on huomattavasti suurempi kuin ”kovia” törmäyksiä tutkivissa CMS- ja ATLAS -kokeissa. Näin ollen LHC:n luminositeetti on tällä optiikalla pienempi, mutta tämä on toisaalta tarpeen, koska protonirihmojen törmätessä ei saa tapahtua useita pp-törmäyksiä. Mittaamalla protonien neliliikemäärän siirron jakautuma ja ekstrapoloimalla se nollasirontakulmalle etusuuntaan, voidaan optisen teoreeman avulla mitata protonitörmäysten kokonaisvaikutusala, kun tunnetaan sironta-amplitudin reaaliosa muista mittauksista.

T1-teleskoopeilla voidaan mitata sähkövarauksellisten hiukkasten radat rapiditeettivälillä 3,1–4,7 ja T2-teleskoopeilla välillä 5,3–6,5. Näitten mittausten perusteella voidaan laskea inelastinen vaikutusala käyttämällä CMS-koeaseman mittaamaa LHC:n luminositeettia ja korjaamalla teleskooppimittauksen ulkopuolelle jäävän faasiavaruuden osuus simulaatiomallien avulla. Faasiavaruuskorjaus on pieni, sillä T2-teleskoopit näkevät noin 95 % inelastisista törmäyksistä. Käyttämällä T1/T2-teleskooppimittauksia voidaan kokonaisvaikutusala mitata myös suoraan ilman optista teoreemaa. Kolmas mittaus voidaan vielä tehdä käyttämällä inelastisten törmäysten lukumäärää ja optista teoreemaa, jolloin luminositeetti eliminoituu.



TOTEM GEM -ilmaisinyksikkö testipenkissä HIPin Ilmaisinlaboratoriossa. (Kuva Jouni Heino)



Toinen TOTEM T2 -teleskoopeista valmiina työnnettäväksi CMS:n etusuunnan kalorimetrin (HF) sisään. (Kuva Jouni Heino)

HIPin vastuualueeksi TOTEMin MoU:ssa määriteltiin T2-teleskooppien GEM-detektorisysteemin rakentaminen ja sen operointi. HIPin TOTEM-ryhmä oli ottanut vastuuta tästä jo v. 2004 lähtien, jolloin ensimmäisiä HIPin Ilmaisinlaboratoriossa valmistettuja GEM-ilmaisia testattiin CERNissä testisuihkussa. Lopullinen rakennusohjelma käynnistettiin yhteistyössä HIPin Ilmaisinlaboratorion kanssa v. 2005. Laiterakennuksen lisäksi HIPin ryhmä aloitti T2-teleskooppien simulaatio-ohjelmiston ja TOTEMin off-line-analyysiohjelmistojen kehitystyön jo ennen MoU:n allekirjoitusta.

HIPin TOTEM-projektin johtajana toimi professori Risto Orava ja ryhmässä työskentelivät aluksi laboratorioinsinööri Kari Kurvinen, Dipl.Physiker Erik Brücken, PhD Francisco Garcia, laboratorioinsinööri Jouni Heino, FM Timo Hildén, FM Juha Kalliopuska, laboratorioinsinööri Rauno Lauhakangas, FM Fredrik Oljemark, professori Heimo Saarikko ja yliopistonlehtori Kenneth Österberg sekä tohtoriopiskelijana FM Elias Noschis. Ryhmään liittyi v. 2011 TkT Tuula Mäki ja tohtoriopiskelijana FM Jan Welti. Österberg toimi HIPin TOTEM-projektin software-koordinaattorina. Vuoden 2008 alussa TOTEM-kollaboraatio nimitti hänet kokeen fysiikan koordinaattoriksi.

FM Elias Noschis osallistui CERNin TOTEM-ryhmän kanssa erikoisvalmisteisten piinauhailmaisimien kehittämiseen TOTEMin Roman Pot -asemiin. Hän väitteli aiheesta Helsingin yliopistossa 20.6.2006. Väitöskirjan otsikkona oli ”Planar Edgeless Detectors for the TOTEM Experiment at the Large Hadron Collider”. Seuraavana väitteli FM Juha Kalliopuska aiheesta: ”Search for a light Higgs boson in central exclusive diffraction; methods and detectors”. Väitös tapahtui Helsingin yliopistossa ja vastaväittäjänä toimi Dr. Rob Roser Fermilabista. FM Timo Hildén väitteli GEM-ilmaisimien valmistuksesta Helsingin yliopistossa 3.5.2015. Väitöskirjan otsikko oli ”Quality

HIPin TOTEM-ryhmää juhlimassa T2-teleskooppien menestyksellistä asennusta CERNiin. Vasemmalta Rauno Lauhakangas, Jouni Heino, Kari Kurvinen, laboratorioteknikko Antti Numminen, Timo Hildén ja tohtoriopiskelija Petteri Mehtälä. (Kuva Jouni Heino)

assurance of Gas Multiplier Detector". Vastaväittäjänä toimi professori Richard Brenner Uppsalan yliopistosta.

TOTEMin kumpaankin T2-teleskooppiin tarvittiin 20 GEM-detektoria. LHC:n ensimmäiseen käynnistämiseen syksyllä 2008 oli CERNissä saatu 10 GEM-ilmaisinta asennettua paikalleen T2-teleskoopiin testejä varten. Kaikki 40 GEM-ilmaisinta saatiin valmiiksi v. 2009 ja molemmat T2-teleskoopit saatiin asennetuiksi vuoden lopulle tehtyihin ensimmäisiin TOTEM-ajoihin. HIPin TOTEM-ryhmä osallistui T2-teleskooppien käynnistykseen ja datan keruuseen.

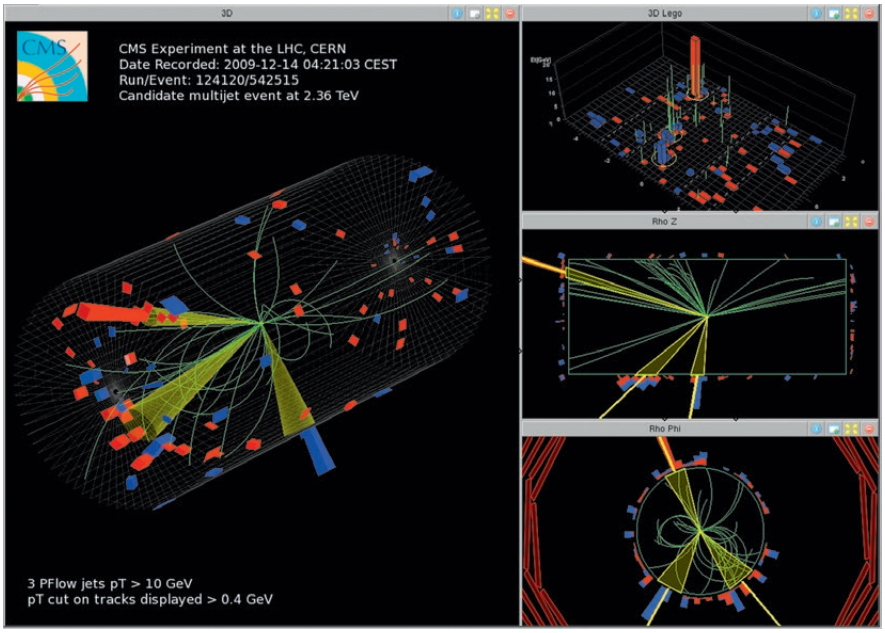
19.1. LHC:n käynnistyminen 2008–2009

LHC:n käynnistys aloitettiin 7.9.2008. Ensimmäiset suihkut saatiin kiertämään kummassakin renkaassa syyskuun 10. päivänä. Tämä oli LHC:n toiminnan kannalta ensimmäinen tärkeä testi, sillä se varmisti, että LHC:n kiihdytysjärjestelmä piti protonirihmat tahdissa RF-kentän kanssa. CERN järjesti käynnistyksestä mediatapahtuman, jota seurattiin maailmanlaajuisesti. Juhlallisuuksien jälkeen aloitettiin kokeilut hiukkasuihkujen kiihdyttämiseksi nostamalla magneettien virtoja. Etenemisen keskeytti 12.9. laitevika, yksi LHC:n sähköjärjestelmän päämuuntajista petti. Osoittautui, että LHC-projektilla ei ollut varamuuntajaa. Tilanne pelastettiin lainaamalla CMS:llä varalla ollut samanlainen muuntaja P5:ltä ja suihkujen operoinnin kokeilua voitiin jatkaa.

LHC-törmäyttimen juhlalliset vihkiäiset 21.9.2008

CERN oli kiinnittänyt hyvissä ajoin ennen LHC:n käynnistysoperaatiota törmäyttimen vihkiäisten päivämäärän. Tapahtuma oli puitteiltaan mittava, Ranskan pääministeri Francois Fillon ja Sveitsin presidentti Pascal Couchepin osallistuivat juhlallisuuksiin. Suomesta paikalla oli delegaatio ulkoasiain alivaltiosihteeri Esko Hamilon johdolla. Delegaatioon kuuluivat ylijohtaja Sakari Karjalainen (OPM), Suomen Akatemian johtaja professori Markku Mattila, HIPin johtaja professori Dan-Olof Riska, Suomen Akatemian vanhempi tiedeasiantuntija FT Pentti Pulkkinen, Suomen Akatemian hallintojohtaja Ossi Malmberg, Tekesin asiantuntija Hannu Juuso, Suomen Geneven pysyvän edustuston päällikkö suurlähettiläs Hannu Himanen sekä lähetystösihteeri Mervi Kultamaa.

Alivaltiosihteeri Esko Hamilo vierailulla CMS:n koeasemalla LHC:n vihkiäisjuhlallisuuksien yhteydessä. Kuvassa vasemmalta tiedeasiantuntija Pentti Pulkkinen, professori Jorma Tuominiemi, professori Dan-Olof Riska, Esko Hamilo ja suurlähettiläs Hannu Himanen. (Kuva CERN)



Rekonstruoitu kuva protoni-protoni-törmäyksestä CMS-koeasemassa 1,18 + 1,18 TeV:n energialla. CMS:n magneettikenttä on kytkettynä, jolloin hiukkasten radat ovat ruuviviivoja. (Kuva CMS Collaboration)

Viritysoperaatioita jatkettiin. Syyskuun 18. päivänä 2008 oltiin suprajohtavien magneettien virtoja nostamassa 70 %:iin suunnitellusta arvosta (ilman suihkuja), kun LHC:n oktantissa no. 34 yksi dipoli- ja kvadrupolimagneetteja yhdistävä suprajohdekaapelien liitos menetti suprajohtavuutensa. Syntyi oikosulku, joka rikkoi kaapeleita ympäröivän nestemäistä heliumia kuljettavan putken, jolloin heliumia pääsi purkautumaan magneettien kryostaatin tyhjiöön. LHC:n varolaitteisto ei pystynyt hallitsemaan tilannetta, heliumin paine rikkoi myös kryostaatin kuoren ja heliumia purkautui ulos LHC-tunneliin. Heliumia purkautui myös suojakuorten sisällä viereisiin magneetteihin, jolloin syntynyt paine irroitti niitä kiinnitysrakenteistaan. Kaikkiaan 39 dipoli- ja 14 kvadrupolimagneettia vaurioitui niin, että ne jouduttiin ottamaan ylös tunnelista korjausta varten.

LHC:n käynnistyksen keskeytymisen oli aiheuttanut vika magneetteja yhdistävän suprajohdeliitoksen juotoksessa, joka ei kestänyt liitoksen läpi kulkenutta virtaa. LHC:n kaikki oktantit käytiin läpi, kaikki magneettien väliset liitokset tarkistettiin ja niitä vahvistettiin. Kahdessa oktantissa jouduttiin vaihtamaan yksi dipolimagneetti uuteen, muut saatiin korjattua. Korjausoperaatio vei kahdeksan kuukautta. Oktantin 34 tyhjiön palauttaminen oli myös iso operaatio, suihkuputki oli nokeentunut 2,4 km matkalta. Laitteistoa myös uudistettiin. Diagnostisointijärjestelmä, joka kontrolloi

Ensimmäisten pp-törmäysten juhlintaa marraskuussa 2009 CERNissä. Kuvassa vasemmalta CMS:n silloinen puhemies professori Tejinder Virdee, professori Joe Incandela (CMS:n puhemies vv. 2012–2013). Dr. Lucas Taylor (CMS:n tiedottaja), ATLAS-kokeen silloinen puhenainen Dr. Fabiola Gianotti ja Gianottin takana professori Guido Tonelli (CMS:n puhemies vv. 2010–2011). (Kuva CERN)

LHC:n toimintaa suunniteltiin kokonaan uudelleen. Uusi järjestelmä seurasi magneettien välisten liitosten käyttäytymistä virtoja nostettaessa entistä tarkemmin niin, että se pystyi katkaisemaan virrat riittävän nopeasti, jos se havaitsi liitoksissa epänormaalia ohmisen vastuksen kasvua. Venttiilejä, jotka päästivät vikatilanteessa magneettien kryostaattien tyhjiötilaan purkautuvan heliumkaasun painetta hallitusti ulos LHC-tunneliin, asennettiin lisää sektoreihin, jotka korjaustöiden vuoksi oli lämmitetty huoneenlämpötilaan. Kaikki magneetit oli saatu asennettua uudelleen paikoilleen 30.4.2009 mennessä.

LHC:n vuodenvaihteen 2008–2009 talviseisokin aikana tehtyjen tutkimusten perusteella päädyttiin siihen, että energian nostaminen yli 3,5 TeV:n vaatisi magneettien välisten kaapeliliitosten korvaamista uudella teknologialla. Lisäksi korjausta varten huoneen lämpötilaan saatetut magneetit olisi ollut treenattava uudelleen nostettaessa energiaa yli 3,5 TeV:n. Näin kattavan korjausohjelman toteuttaminen olisi vaatinut yli vuoden toimintaseisokin. Kun 3,5 + 3,5 TeV:n energialla voitiin jo tutkia suurta osaa LHC-tutkimusohjelman mielenkiinnon kohteena olevia ilmiöitä Higgsin hiukkasen tuottoa myöten, päätettiin LHC pitää käynnissä tällä energialla vuosina 2010–2012 ja toteuttaa muutostyöt 7 TeV:n suihkuenergioita varten vv. 2013–2014.

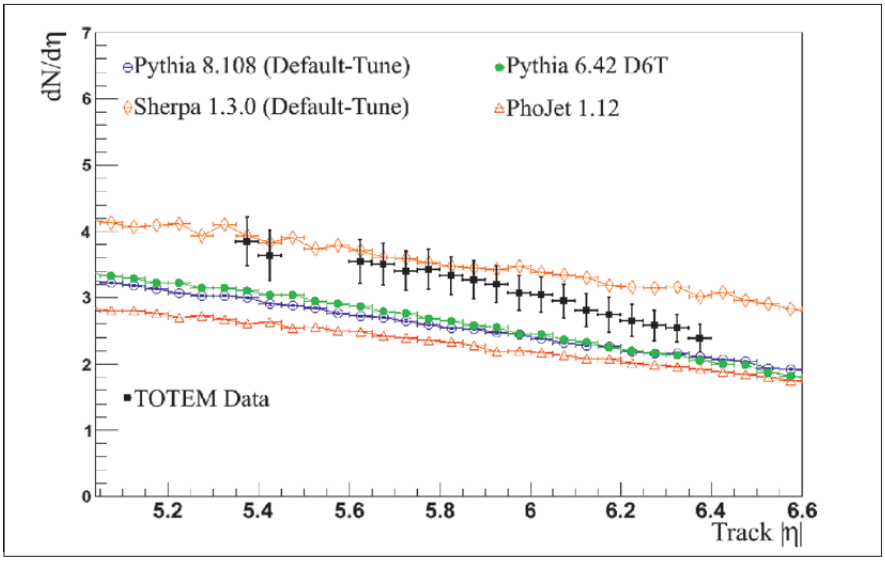
Vuoden 2009 lokakuun lopussa kaikki suprajohtavat magneetit oli taas jäähdytetty 1,9 K lämpötilaan ja marraskuussa törmäytin oli valmiina aloittamaan uudelleen toimintansa. Suihkut saatiin kiertämään LHC:ssa jälleen

23.11.2009, ja ensimmäiset protonien törmäykset suihkujen sisään syöttö -energialla (450 GeV) rekisteröitiin sekä ATLAS- että CMS-koeasemalla. Koeasemien magneetit oli kytketty päälle. CMS:n TOB-ratailmaisimella mitattiin suihkujen törmäyspisteen paikka tarkkuudella, joka vastasi suunniteltua. Törmäyttämistä jatkettiin tuntien ajan useaan otteeseen, jotta LHC-kokeet saattoivat rekisteröidä riittävästi törmäystapahtumia. Esimerkiksi CMS-koe rekisteröi noin puoli miljoonaa protoni-protoni-törmäystä 450 + 450 GeV:llä. Tämä vaihe oli lähinnä tarkoitettu koeasemien kalibrointia varten, mutta samalla tehtiin alustavia mittauksia protonien välisten vuorovaikutusten fysiikasta ja verrattiin tuloksia aiemmista CERNin ja Fermin laboratorion protoni-antiprotoni-törmäyttimillä tehdyistä kokeista saatuihin.

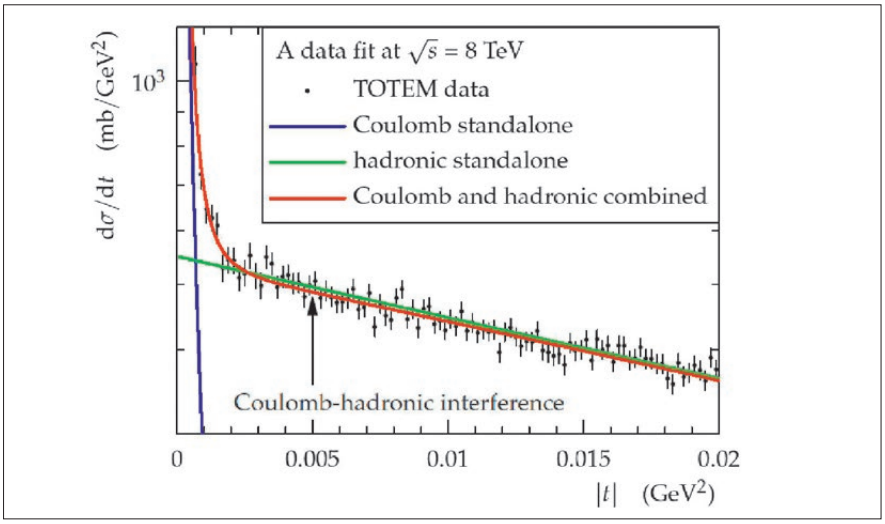
Viikkoa ennen joulutaukoa, 4.12.2009, aloitettiin suihkujen kiihdyttäminen 450 GeV:stä ylöspäin. Alku otettiin vielä varman päälle, suihkujen energia nostettiin vain 1,18 GeV:hen. Kussakin suihkussa oli tällöin 4 protonirihmaa. Kaikki sujui hyvin ja ”Stable beams” -tilanne saavutettiin heti ja taas sekä CMS että ATLAS rekisteröivät törmäykset.

19.2. TOTEM-kokeen ajot 2010–2012

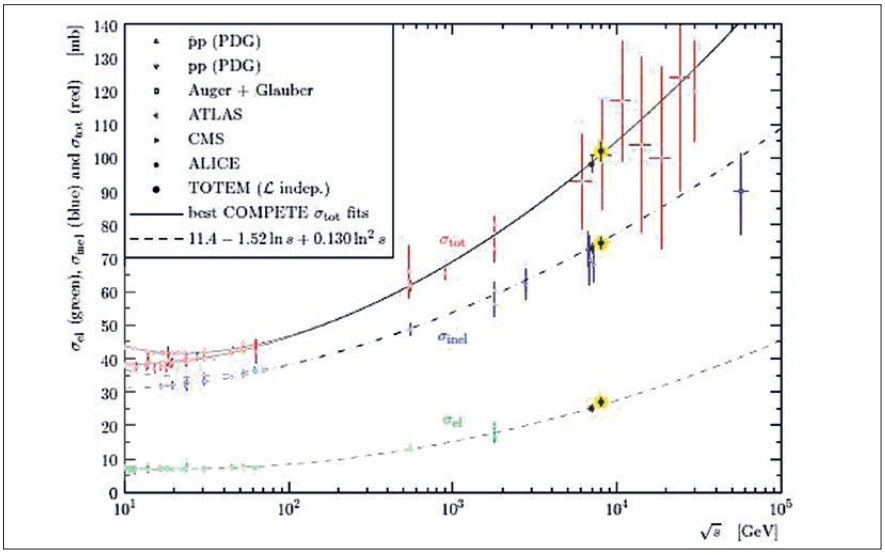
LHC:n käynnistyttyä uudelleen keväällä 2010 tehtiin TOTEM-kokeen ensimmäinen fysiikan ajo, jossa tehtiin ensimmäiset mittaukset elastisen sironnan neliliikemäärän siirrosta. TOTEM-kokeiden tarvitsema integroitu luminositeetti oli paljon pienempi kuin ATLAS- ja CMS-kokeissa oli tarpeen, joten sen



T2-spektrometrillä mitattu sähkövarauksellisten hiukkasten tiheys rapiditeetin funktiona 7 TeV pp-törmäyksissä. (TOTEM Collaboration)



TOTEMin mittaama neliliikemäärän siirtymän jakautuma 8 TeV:llä Run1:llä. (TOTEM Collaboration)



Kompilaatio pp-törmäysten vaikutusalamittauksista v. 2012. Mustat pisteet esittävät TOTEMin luminositeetista riippumattomia mittaustuloksia Run1:stä 7 ja 8 GeV:llä. (TOTEM collaboration)

ajot kestivät vain muutamia viikkoja. Vuoden 2011 ajossa käytettiin LHC:n optiikkaa, joka salli neliliikemäärän siirron mittauksen hyvin pienelle sirontakulmalle, vastaten neliliikemäärän siirtoa 6×10^{-4} GeV^2. Tämä teki mahdolliseksi hadronisen sironnan neliliikemäärän siirron jakautuman tarkan ekstrapoloinnin etusuuntaan ja optisen teoreeman käytön kokonaisvaikutusalan

mittaamiseksi. Samaa optiikkaa käytettiin myös 2012 ajoissa 8 TeV törmäysenergialla. Näin Run1:n aikana saavutettiin TOTEM-kokeen ensimmäiset tavoitteet, elastisen sironnan neliliikemäärän siirron jakautuman, kokonaisvaikutusalan sekä inelastisen vaikutusalan mittaukset.

HIPissä ensimmäisenä TOTEM-kokeen fysiikasta väitteli FM Jan Welti. Hänen väitöskirjansa ”Inelastic, non-diffractive and diffractive proton-proton cross-section measurements at LHC” tarkastettiin Helsingin yliopistossa 3.11.2017. Vastaväittäjänä oli professori Paul Newman Birminghamin yliopistosta.

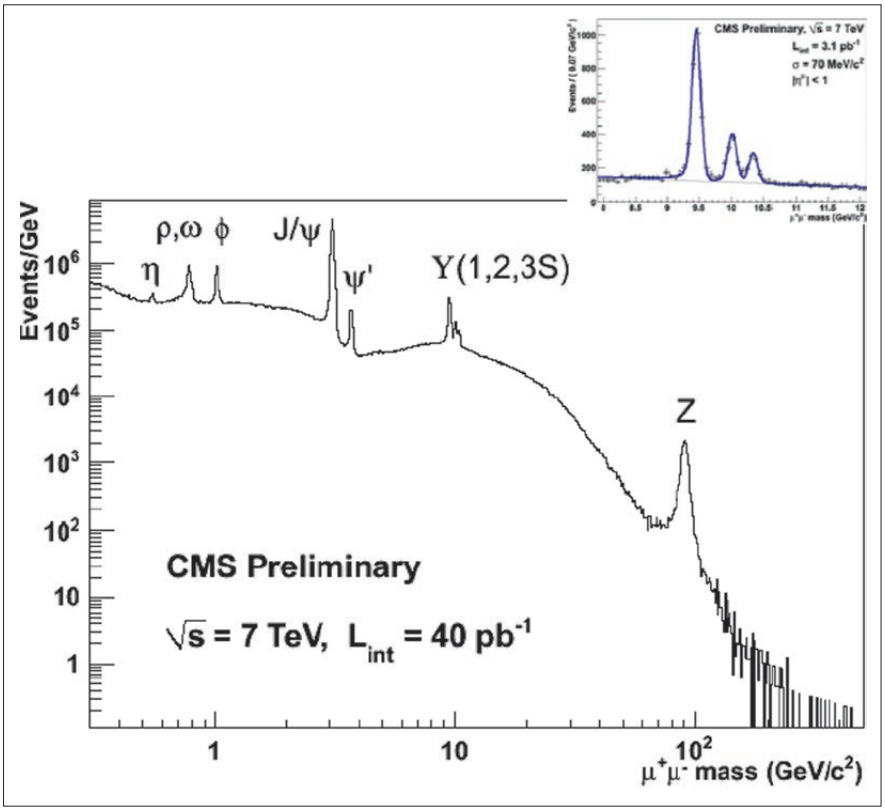
V. 2012 aikana tehtiin myös yhteinen TOTEM + CMS-ajo, jossa käytettiin yhteistä liipaisua. Tämän jälkeen TOTEM-kokeessa pääpaino siirtyi diffraktiivisten prosessien analyysiin, joiden tarkempi tutkimus tuli olemaan Run2:n päätavoitteena 2015–2018.

19.3. CMS-koe 2010–2011 ja valmistautuminen Higgsin hiukkasen metsästykseen

Vuodenvaihteen 2009–2010 talviseisokin jälkeen LHC aloitti suihkujen viritttelyn helmikuun lopussa. Ensimmäiset törmäykset saatiin aikaan maaliskuun 30. päivänä suihkuenergioilla 3,5 TeV. Koeasemat olivat myös valmiina aloittamaan kokeet. Suihkujen intensiteettiä saatiin kasvatettua nopeaan tahtiin syöttämällä esikiihdyttimistä LHC:hen yhä suurempi määrä protonirihmoja. Heinäkuussa luminositeetti oli jo 1,4 x 10^{30} $cm^{-2}s^{-1}$, tuhatkertainen maaliskuun arvoon verrattuna. CMS ja ATLAS julkaisivat ensimmäiset tutkimustulokset kesäkuussa ja näistä esitettiin 35. kansainvälisessä suurenergiafysiikan konferenssissa (ICHEP 2010) Pariisissa 22.–28.7.2010. Vuoden 2010 joulutaukoon mennessä CMS oli rekisteröinyt dataa kaikkiaan 43 pb^{-1}. Tällä voitiin analysoida suuri osa standardimallin ennusteista ja näin verifioida sen pätevyyttä Fermilabin Tevatron-kokeisiin verrattuna kolminkertaisella törmäysenergialla. Vuoden lopulla saavutettiin jo luminositeetti 10^{32} $cm^{-2}s^{-1}$.

Marraskuussa LHC viritettiin lyijyionien kiihdyttämiseen ja törmäyttämiseen 2,76 TeV:n energialla. Kaikki sujui nytkin suunnitelmien mukaan. ALICE- ja CMS-koeasemilla saavutettiin suunnitellut tavoitteet ja tuloksia voitiin verrata Brookhavenin kansallisen laboratorion RHIC-raskasionitörmäyttimellä saavutettuihin. Ajo kesti 26.11.–6.12.2010.

CMS-kokeen alettua v. 2010 ensimmäisenä tärkeänä tehtävänä oli keskusratailmaisimen geometrinen linjaaminen. HIPin CMS experiment -projektissa Veikko Karimäki ja Tapio Lampén jatkoivat työtään linjaamismenetelmien kehittämisessä ja itse linjaamisessa CMS-kokeen Tracker Alignment -projektin osana ja yhteistyössä useiden muiden CMS-instituuttien kanssa. Ratailmaisimien geometrinen linjaaminen vaatii jatkuvaa monitorointia, sillä varsinkin CMS:n solenoidimagneetin virran pois kytkeminen ja sen uudel-



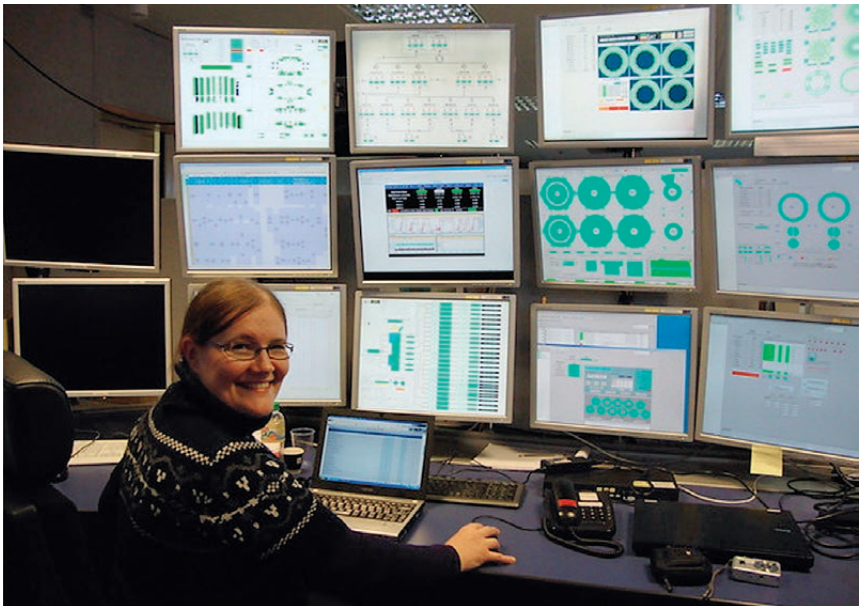
CMS:n mittaama $\mu^+\mu^-$-parien massajakautuma vuoden 2010 datasta. Kuva antaa yhteenvedon hiukkasfysiikan historiasta, sillä siinä esiintyy koko vv. 1950–1983 kiihdytinkokeissa löydettyjen sähköisesti neutraalien hiukkasten sarja. (Kuva CMS collaboration)

leenkäynnistys aiheuttavat aina pieniä siirtymiä ilmaisimien tukirakenteissa. Ilmaisinmodulien paikka on tunnettava muutaman mikrometrin tarkkuudella, jotta törmäystapahtumista voidaan tehdä tarkka fysiikan analyysi. Ensimmäinen alustava mittaus ilmaisinmodulien paikoista tehdään lasersädejärjestelmällä, jonka jälkeen modulien paikat tunnetaan muutaman sadan mikrometrin tarkkuudella. Lopulliseen tarkkuuteen päästään käyttämällä hyväksi ilmaisinmodulien läpi kulkevien hiukkasten mitattuja hiukkasratoja, myös esimerkiksi Z^0-bosonin hajoamistuotteiden ratoja. CMS-kokeessa keskusratailmaisimen linjaamisessa käytetään kahta algoritmia: laskennallisesti raskasta ns. globaalia MilliPede-menetelmää, jossa kaikki linjaamisparametrit ratkaistaan samalla kertaa, tai HIPissä kehitettyä paikallista Hits and Impacts Points (H.I.P.) -linjaamismenetelmää. Törmäystapahtumien lisäksi linjaamiseen tarvitaan myös kosmisten myonien ratoja ja siksi niistä kerätään dataa protonirihmojen törmäysten välillä ja aina kun LHC:n toiminnassa on tau-

CMS-kokeen ”ajaminen”

CMS-koeasema vaatii tuhatkunta tutkijaa pitämään se toiminnassa, tarkkailemaan alidetektorien toimintaa, tarkistamaan kerätyn datan laatu, tekemään ilmaisimien kalibrointia sekä törmäystapahtumien rekonstruointia, ennen kuin päästään varsinaiseen fysiikan analyysiin. Tämän organisoiminen 180 instituutin kesken on vaativa tehtävä. LHC-koeasemat ovat merkittävästi kompleksisempia kuin LEP- tai SPS-törmäyttimien koelaitteistot. Kokeiden valvomot ovat myös suurempia ja varsinkin aluksi tarvittiin suuri määrä fyysikoita valvontatehtäviin. CMS-kokeessa tiedonkeruun – ajojen – valvonta on organisoitu kahteen paikkaan. Koeaseman toiminnan reaaliaikainen valvonta ja datan laadun online-tarkistus tehdään Point5-hallilla sijaitsevassa valvomossa, kun taas datan tarkempi off-line laatuvalvonta ja datan syöttäminen CERNin T0-tietokonekeskukseen tapahtuu CERNin Meyrinin alueella sijaitsevassa CMS Software -keskuksessa.

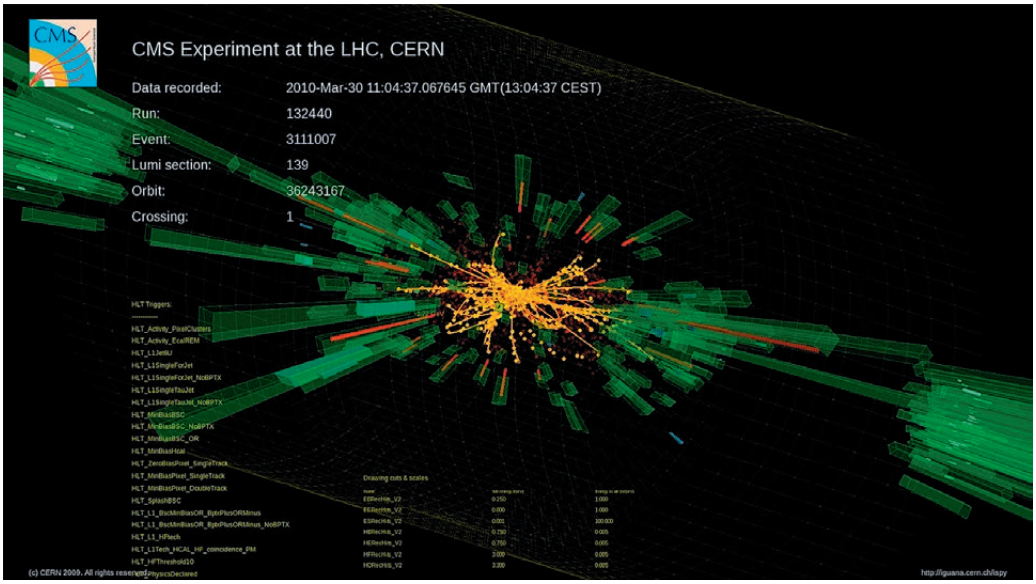
Kokeiden edistyessä valvontatoimintoja automatisoitiin ja yhdisteltiin niin, että tarvittavaa miehitystä saatiin supistettua merkittävästi. Käytännössä ratkaistavana oli kuitenkin samanlaisia logistisia ongelmia kuin jo SPS- ja LEP-kokeissa: miten saada miehitettyä valvontatehtävät LHC:n ollessa käynnissä 24/7 suurimman osan vuotta. Tämä ratkaistiin niin, että jokainen tutkija, joka esiintyy CMS:n tutkimustuloksista julkaistujen tieteellisten raporttien allekirjoittajana, on tehnyt kokeen ollessa käynnissä tietyn määrän valvontavuoroja ja muita kokeen käynnissä pitämiseen tarvittavia tehtäviä. Valvomot ovat näin tulleet hyvin tutuiksi myös HIPin CMS-ryhmän tutkijoille.



FT Panja Luukka CMS-kokeen P5-valvomossa kokeiden käynnistyessä maaliskuussa 2010. (Kuva CERN)

Ajon toiminnan seuraamista CMS:n Point5-valvomossa. (Kuva CERN)

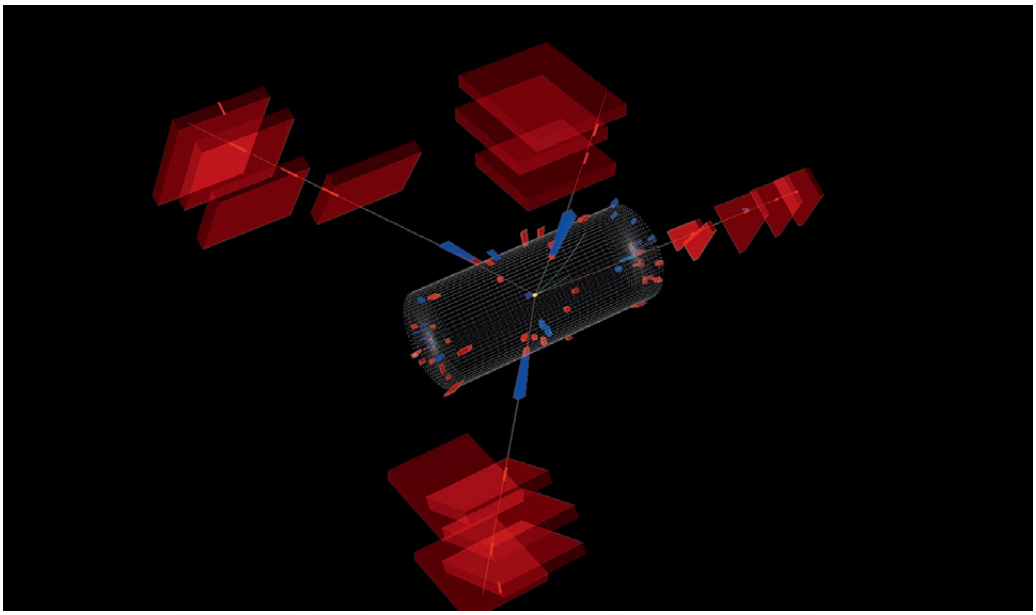
CMS:n datankeruun off-line-valvonta tehdään CERNin Meyrinin kampuksella sijaitsevassa CMS-Centerissä. (Kuva CERN)



Rekonstruoitu kuva protoni-protoni-törmäyksestä CMS-koeasemassa 3,5 + 3,5 TeV:n energialla v. 2010. Keltaiset viivat kuvaavat ratailmaisimien mittaamia hiukkasten ratoja, vihreät symbolit kalorimetrien mittaamia energiavektoreita. (Kuva CMS Collaboration)

ko ja myös. Tapio Lampén toimi linjaamisen validoinnin vastaavana HIPissä Run1:n ajan.

HIPin Tier 2 -keskus oli valmiina Run1:n datan analyysiin heti v. 2010 alusta. Tier 2 -projekti oli siirretty HIPin Teknologiaohjelmasta CMS-ohjelmaan FT Tomas Lindénin koordinoitavaksi. Keskuksen operointi, ylläpito ja monitorointi tehtiin edelleen HIPin, CSC:n (IT Center for Science Ltd) ja NDGF:n (Nordic Data Grid Facility) yhteistyönä. Keskuksen CPU-pääresurssina oli 768 ytimen Linux klusteri ”Jade”, joka oli sijoitettu CSC:n tietokonetiloihin Otaniemessä. Sen tukena käytettiin 400 ytimen ”Korundi”-klusteria, joka sijaitsi Kumpulan kampuksella. Kumpula ja CSC oli yhdistetty 10 Gb/s optisella linkillä. Keskuksen levykapasiteetti käsitti 552 TB dCache-systeemin levytilaa. Keskuksen tehokkuus saatiin nostettua alusta alkaen korkeaksi. Vuonna 2010 Tier 2:lla ajettiin 186 tuhatta työtä 93 % keskimääräisellä tehokkuudella. Vuonna 2011 keskusta täydennettiin 840 ytimen ”Alcyone”-klusterilla Finnish Grid Infrastructure -rahoituksella. Vuoden 2012 aikana ylitettiin miljoonan CMS grid-työn raja. CMS:n monitorointisysteemin mukaan HIPin Tier 2 -resurssi pysyi valmiustilassa 80 % ajasta. Tier 2 -keskuksesta lähetettiin v. 2012 76 TB sillä tuotettua Monte Carlo- ja muuta dataa CMS:n Tier 1/Tier 2 -laskentajärjestelmään. HIPin fysiikan analyysiryhmillä oli siis käytössään tarvittavat resurssit kokeen analysointiin Run1:n alusta asti ja HIP pystyi täyttämään kiintiönsä Monte Carlo simulointidatan tuottamisessa koko CMS:n käyttöön. Vuoden 2012 lopulla aloitettiin tutkimukset



CMS:n v. 2011 ajossa rekisteröimä törmäys, jossa on syntynyt neljä suurenergistä myonia. Tämänkaltaisen topologian synnyttää myös Higgsin hiukkasen hajoaminen kahteen Z-bosoniin, kun ne hajoavat edelleen myonipareiksi. Myonit havainneet ilmaisimet on kuvattu punaisina, samoin niillä ja keskusratailmaisimella mitatut myonien radat. Kuvaan on piirretty vain niiden hiukkasten radat, joiden poikittaisliikemäärä on suurempi kun 2 GeV/c. (Kuva CMS Collaboration).

pilvilaskentaan siirtymisestä Helsingin yliopiston Tietojenkäsittelytieteen laitoksen kanssa. Projektin rahoitti Suomen Akatemia. Rakennetussa testijärjestelmässä ajettiin menestyksellisesti CMS-töitä jo v. 2012.

Talviseisokin 2010–2011 jälkeen LHC käynnistettiin uudelleen maaliskuussa 2011. Suihkujen energia oli edelleen 3,5 TeV. Käynnistäminen sujui hienosti. Raporteissaan LHC:n fyysikot ja insinöörit saattoivat riemuita: ”We have a beautiful machine in our hands!” Kokeet aloitettiin syöttämällä esikiihdyttimistä LHC:hen 300 protonirihmaa kumpaankiin suihkuun 50 ns aikavälein. Elokuussa rihmojen lukumäärä nostettiin 1380:een, joka oli silloin suurin esikiihdyttimillä saavutettava määrä. Luminositeetti nousi arvoon 3,5 x 10^{33} $cm^{-2}s^{-1}$, joka oli jo lähellä suunniteltua maksimiluminositeettia 10^{34} $cm^{-2}s^{-1}$. Vuoden lopulla törmäyksiä oli tuotettu 4,9 fb^{-1}, joka oli viisinkertainen vuoden alussa tehtyihin arvioihin verrattuna. Kaikki koeasemat toimivat vuoden aikana yli 90 % tehokkuudella. LHC:n tuottama tieteellinen informaatio ylitti kevään 2011 aikana Fermin laboratorion Tevatron-kokeiden saavutukset. Törmäysten määrä oli jo tilastollisesti niin suuri, että Higgsin bosonin löytäminen alkoi teoreettisten ennusteitten mukaan olla mahdollista. Marraskuussa 2011 LHC viritettiin jälleen kiihdyttämään ja törmäyttämään lyijy-ytimiä.

Törmäyksiä rekisteröitiin nyt ATLAS-, CMS- ja ALICE-kokeissa. Myös tämä tutkimusohjelma toteutettiin menestyksellisesti.

Vuoden 2011 ajo osoitti, että CMS-koeaseman kaikki osat toimivat suunnitellulla tarkkuudella ja tehokkuudella. Suomalainen CMS-tutkimusryhmä totesi erityisesti tyydytyksellä, että keskusratailmaisin ja pikseli-ilmaisin toimivat moitteettomasti. Fysiikan analyysissä voitiin lisäksi huomata, että ratailmaisimien antamalla datalla oli odotettua suurempaa merkitystä kalorimetrien antaman datan analysoinnissa. Yhdistämällä tehokkaasti eri alidetektoreitten antamaa dataa kehitettiin ns. ”particle flow” -rekonstruktiomenetelmä, jossa voitiin mitata yksittäisten hiukkasten tiedot ennalta odottamattomalla tarkkuudella. Kun ajateltiin ratailmaisimien rakenteen mittavaa kompleksisuutta, systeemin toimintavarmuutta jännitettiin aluksi kovastikin. Keskusratailmaisimessa on 1,6 miljoona datanlukukanavaa ja Run1-vaiheen jälkeen toimivana oli 98 % kanavista. Ilmaisijärjestelmien, myös TOB-tukirakenteen rakentamisvaiheessa vaalittu perusteellinen laatutarkkailu oli tuottanut tulosta ja taannut ilmaisinjärjestelmien toimintavarmuuden. HIPin CMS-ryhmä osallistui paitsi kerätyn datan analysointiin, myös kokeen ajamiseen liittyviin tehtäviin.

Vuoden 2012 ajo – Higgsin bosoni löytyy! 20.

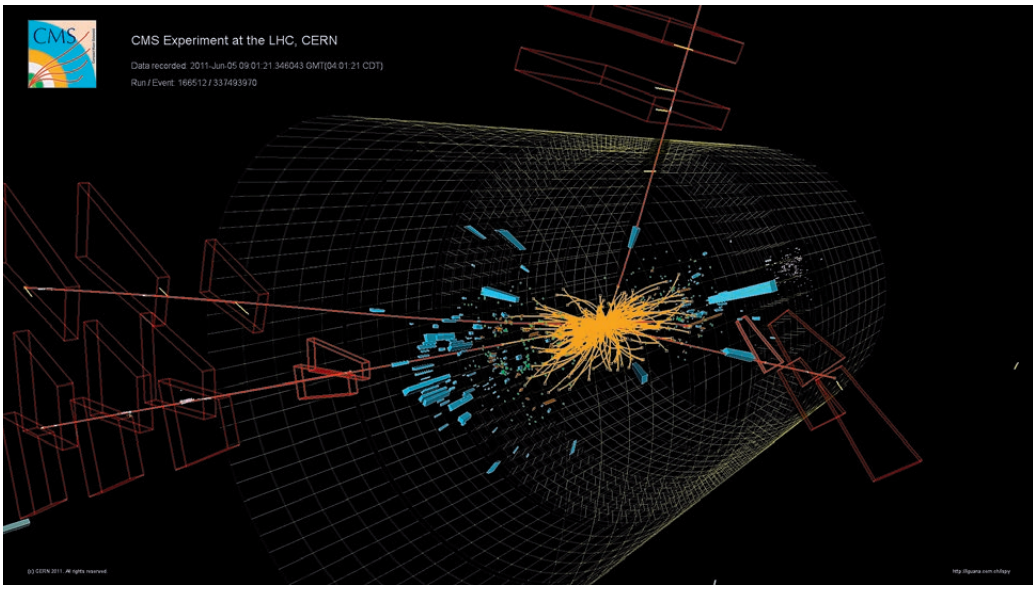
20.1. CMS-koe v. 2012

Vuonna 2012 LHC käynnistettiin talviseisokin jälkeen maaliskuun lopussa. Vuoden 2011 ajojen aikana törmäyttimen toiminnasta kerätyn informaation perusteella magneettien virtojen suuruutta nostettiin jonkin verran, niin että suihkut voitiin kiihdyttää 4 TeV:n energiaan. Tämä kasvatti törmäyttimen luminositeettia 15 %. Pian saavutettiinkin uusi luminositeettiennätys 6×10^{33} $cm^{-2}s^{-1}$. Teorian ennustama Higgsin hiukkasen tuottovaikutusala oli puolestaan 20–30 % suurempi kuin 7 TeV:n törmäysenergialla (nyt siis 8 TeV), jolloin Higgsin hiukkasen etsinnässä massa-alueella 120–130 GeV/c^2 löytämispotentiaali nousi 30–35 %. Lisäksi uusien hiukkasten etsiminen voitiin ulottaa suuremmille massoille aina 2 TeV asti.

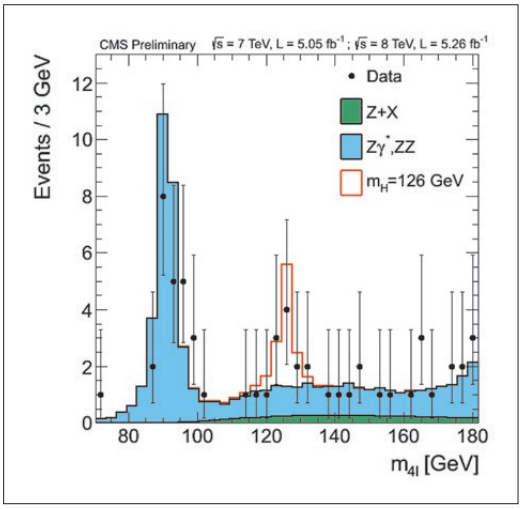
ATLAS- ja CMS-koeasemat aloittivat protoni-protoni-törmäysten rekisteröinnin 4.4.2012. Vuoden päätavoitteena oli Higgsin hiukkasen löytäminen. Vuoden 2011 datan analyysi oli jo antanut alustavia viitteitä uuden hiukkasen olemassaololle 120–130 GeV:n massa-alueella, mutta tarvittiin enemmän törmäyksiä selvittämään, oliko kyseessä tilastollinen heilahdus taustassa – standardimalli ilman Higgsin bosonia – vai ei. Simulaatiotutkimukset olivat ennustaneet, että Higgsin hiukkasten havaitseminen olisi mahdollista noin 10 fb^{-1}:n datamäärällä. Kun ATLAS ja CMS olivat kumpikin keränneet toukokuun loppuun mennessä dataa 5 fb^{-1}, päätettiin tehdä välikatsausanalyysi pitäen silmällä Melbournessa v. 2012 heinäkuun alussa järjestettävää suurta kansainvälistä ICHEP-konferenssia. Kokeellisesti parhaiten LHC:llä mitattavissa olevat Higgsin hiukkasen hajoamismoodit ovat hajoaminen kahteen fotoniin ja hajoaminen neljään leptoniin (elektroniin tai myoniin). Nämä ”golden channels” olivat erityishuomion kohteena alusta alkaen.

Analyysin edistyessä touko-kesäkuun aikana jännitys CMS-tutkijoiden keskuudessa oli äärimmillään. Kesäkuun lopulla nousi sitten riemu kattoon, kun välikatsaus-analyysin lopputulos vahvisti uuden hiukkasen olemassaolon 125 GeV/c^2 massalla. Signaali oli edelleen taustaan verrattuna suhteellisesti pieni, mutta se näkyi jo massajakautumissa. Sitä voitiin vahvistaa tilastollisilla menetelmillä vertaamalla, miten hyvin hypoteesit Higgs + tausta ja pelkkä tausta kuvasivat mitattujen eri fysikaalisten muuttujien jakautumia. Kun lisäksi analysoitiin hajoamiskanavia, joissa lopputilassa havaitaan kaksi sähkövarauksellista leptonia ja puuttuvaa poikittaisliikemäärää, kaksi tau-leptonia tai b-kvarkki-antikvarkkipari, signaalihypoteesin tilastollinen merkittävyys vahvistui niin, että voitiin julistaa uusi hiukkanen löydetyksi.

Tutkimusaineisto ei vielä tässä vaiheessa riittänyt selvittämään, oliko kysymyksessä standardimallin Higgsin bosoni, standardimallin laajennuksen ennustama Higgsin hiukkanen vai joku muu hiukkanen. Mitattu tuottovaikutusala oli kyllä tilastollisesti yhtäpitävä standardimallin Higgsin hypoteesin kanssa, mutta hiukkasen ominaisuuksien tarkempaan mittaukseen tarvittiin lisää dataa.

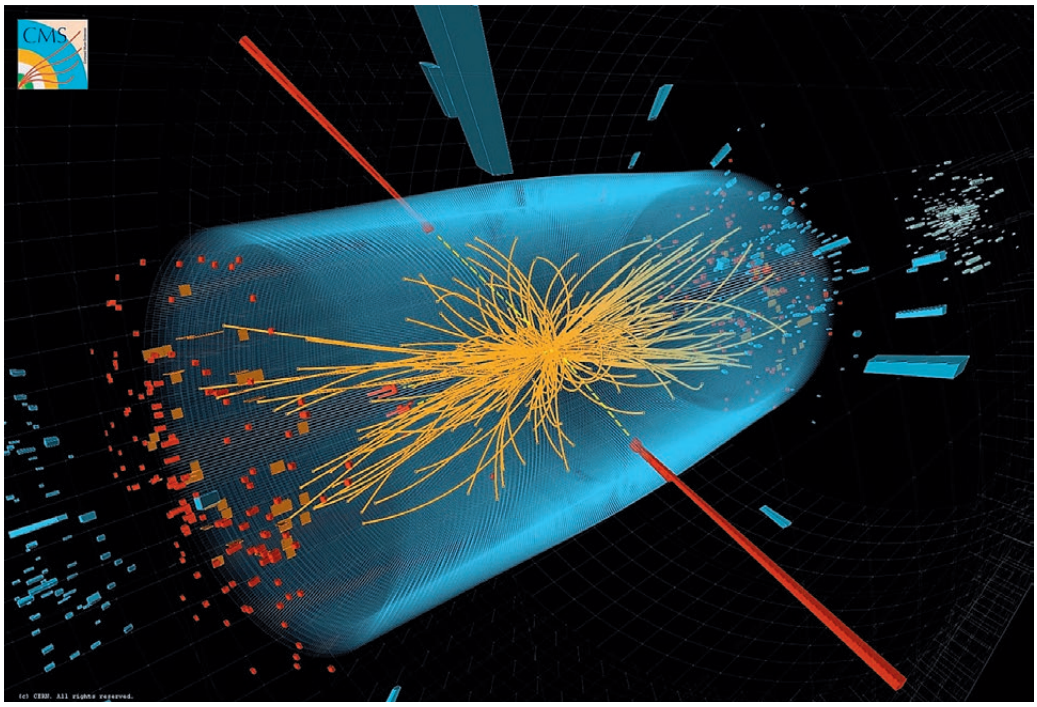


CMS-koeaseman v. 2012 rekisteröimä törmäys, jossa on lopputilassa neljä suurenergistä myonia. Keskusratailmaisimella mitatut radat on kuvattu keltaisilla viivoilla, myoni-ilmaisimilla mitatut radat punaisilla viivoilla. Siniset symbolit kuvaavat kalorimetreillä tehtyjä energian mittauksia. (Kuva CMS Collaboration)

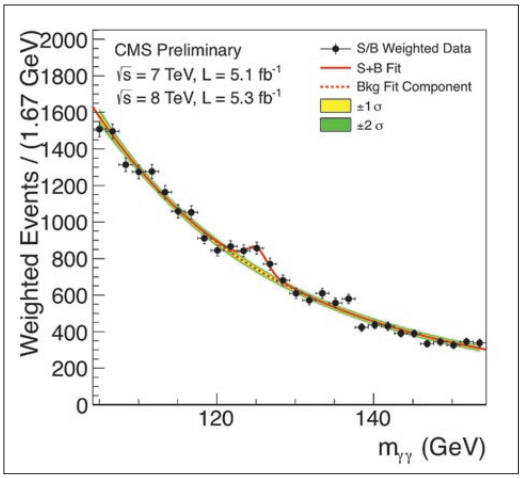


CMS-kokeessa mitattu neljään leptoniin hajonneen hiukkasen massan jakautuma 4.7.2012. Histogrammiin on piirretty standardimallin ennusteen mukainen Higgsin bosonin massapiikki massalle 126 GeV. Histogrammin alkupäässä 90 GeV:n kohdalla massapiikki tulee Z-bosonin hajoamisesta neljään myoniin. (Kuva CMS Collaboration)

Tulokset julkaistiin CERNissä pidetyssä seminaarissa 4.7.2012. CMS-kokeen silloinen puhemies, professori Joe Incandela (Santa Barbara) ja ATLAS-kokeen puhenainen Dr. Fabiola Gianotti (CERN) pitivät tuloksista esitelmät. CERNin suuri auditorio oli täyteen pakattu kuulijoita. Paikalla olivat professorit Peter Higgs ja Francois Englert, jotka v. 1964 ensimmäisinä esittivät teoreettiset tutkimukset Higgsin hiukkasen olemassaoloon johtaneesta sähköheikon vuorovaikutuksen spontaanista symmetriarikosta. Läsnä olivat myös



CMS-koeaseman rekisteröimä törmäys, jossa lopputilassa on kaksi suurenergistä fotonia. Punaiset symbolit kuvaavat elektronien energian mittausta sähkömagneettisessa kalorimetrissä. (Kuva CMS Collaboration)

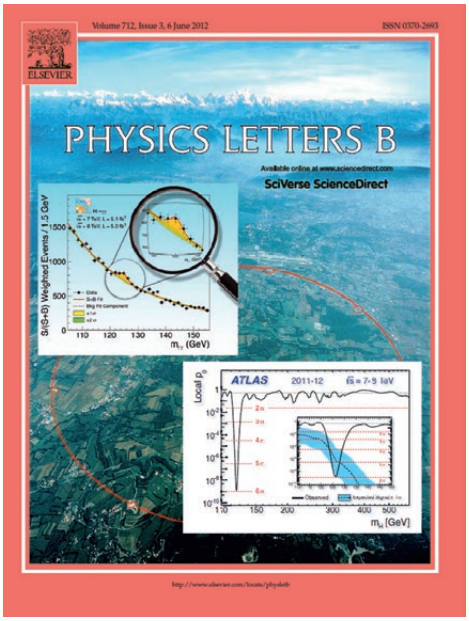


CMS-kokeessa mitattu kahden fotonin muodostaman hiukkasen massan jakautuma 4.7.2012. Kuvaan on piirretty Standardimallin ennusteen mukainen massajakautuma, kun Higgsin hiukkasen massa on 126 GeV (S + B Fit). (Kuva CMS Collaboration)

professorit Tom Kibble, Gerald Guralnik ja Carl R. Hagen, jotka olivat esittäneet tähän liittyviä teoreettisia tuloksia 1964–1967. Tilaisuus välitettiin suorana lähetyksenä Melbournen ICHEP-kokoukseen ja tietysti kaikkiin CMS-instituutteihin. Pääjohtaja Rolf Heuer lausui seminaarin päätössanoissaan:

> ”Results today were only possible due to the extraordinary performance of the accelerators – experiments – and Grid-computing.”

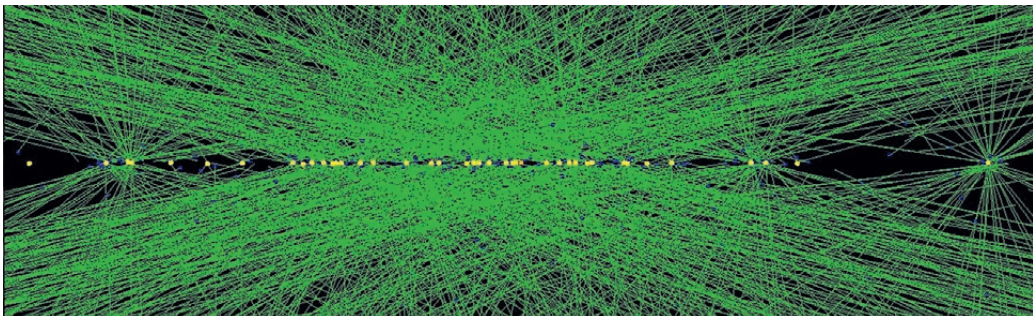
Higgsin bosonin löydöstä raportoitiin kesällä 2012 useiden maiden televisiossa – myös Suomen. Vasemmassa yläkulmassa CNN:n kuvassa seminaarista 4.7. pääjohtaja Rolf Heuer ja CMS:n puhemies professori Joseph Incandela. (Kuva CERN)



LHC-kokeiden raportit Higgsin bosonin löytymisestä julkaistiin Physics Letters B -lehden erikoisnumerossa.

CERNin kokeiden saama huomio oli valtavasti suurempi kuin aikaisemmin SPS-törmäytinkokeissa, joissa W- ja Z-bosonit löydettiin vv. 1982–1983. Nyt CERNissä tapahtumaan osallistui 55 mediaorganisaatiota, joilla oli oma lähetyskalusto tai ainakin oma toimittaja paikalla. Tilaisuutta seurattiin myös Helsingissä Kumpulan kampuksella videoyhteydellä HIPin tiloissa ja saavutusta juhlistettiin samppanjan kera. Myös suomalainen media huomioi tapahtuman laajalti.

Vuoden 2012 kokeet jatkuivat joulukuuhun asti. LHC:n luminositeetti saatiin nostettua uuteen ennätykseen 7,7 x 10^{33} $cm^{-2}s^{-1}$. Tällä luminositeetillä syntyi keskimäärin jo yli 30 protonien törmäystä rihmojen kulkiessa toistensa läpi (1 ns aikana). Kaikki nämä törmäystapahtumat rekisteröityivät datan rekisteröinnin samassa aikaikkunassa päällekkäin. Tämä aiheuttaa lisävaatimuksia analyysimenetelmille, jotta törmäystapahtumat voitiin

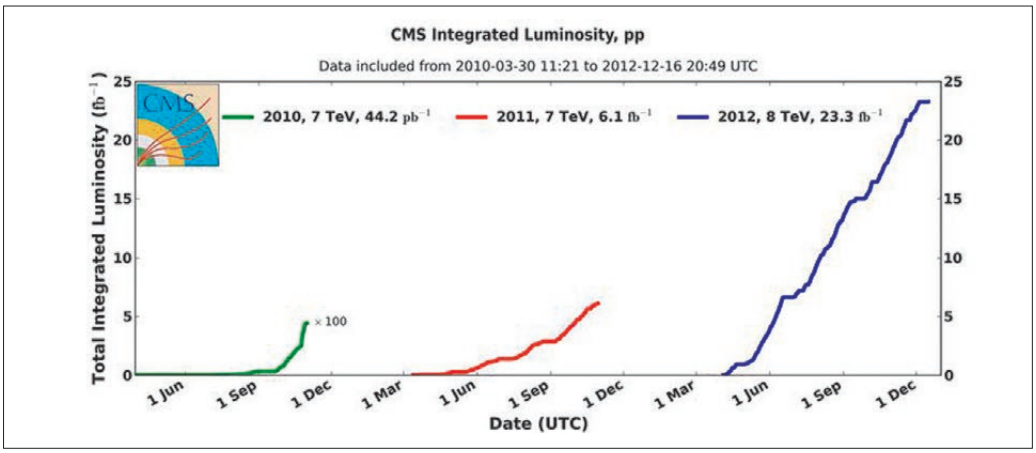


Kuva CMS:n keskusratailmaisimen rekonstruoimista hiukkasten radoista ja niiden avulla rekonstruoiduista törmäyspisteistä (keltaiset pallot) v. 2012 ajoissa. (Kuva CMS collaboration)

erottaa toisistaan. Oli pystyttävä ratailmaisimilla identifioimaan sellaisten hiukkasten radat, jotka lähtevät suihkulinjalla yhdestä pisteestä, törmäyksen verteksistä.

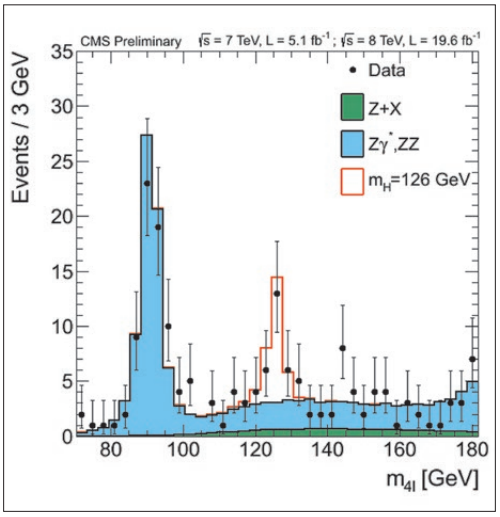
Vuoden 2012 CMS-kokeessa kerätty kokonaisluminositeetti oli 23 fb^{-1}, joka vastaa n. 2,3 x 10^{15} protoni-protoni-törmäystä. Näistä valittiin CMS-koeaseman liipaisujärjestelmällä noin 10^{9} kiinnostavaa törmäystä, joista mitattu tieto tallennettiin CERNin Tier 0 -levymuisteihin jatkoanalyysiä varten.

Joulun ajan seisokin jälkeen LHC jatkoi raskasioniajolla ALICE-koeasemalla ja myös ATLAS- ja CMS-koeasemilla. Ajo päättyi helmikuun 14. päivänä. Tämän jälkeen LHC:n Run1-vaihe päättyi ja aloitettiin kahden vuoden huoltotauko vv. 2013–2014. Tauon aikana kiihdytinrenkaan dipolimagneettien väliset kytkennät uusittiin kestämään virtoja, joilla päästiin nostamaan suihkujen energia 6,5 TeV:hen. Dipolimagneetit oli myös treenattava uudelleen pysymään suprajohteisena 8,3 Teslaan asti. Samalla tehtiin muita pa-



CMS-kokeessa Run1:n aikana 2010-2012 analysoidun LHC:n tuottaman kokonaisluminositeetin kasvu. Aikajaksot olivat: 30.3.–3.11.2010, 14.3.–30.10. 2011 ja 5.4. – 16.12.2012. (Kuva CERN)

CMS-kollaboraation jäseniä yhteiskuvassa P5-hallissa kesäkuussa v. 2012. Taustalla valokuva avatusta CMS-koeasemasta. (Kuva Michael Hoch, HEPHY Vienna)



CMS-kokeessa mitattu neljään leptoniin hajonneen hiukkasen massan jakautuma Run1:n päätyttyä joulukuussa 2012. (Kuva CMS collaboration)

rannustöitä, joihin on löytynyt aihetta kahden vuoden ajojen kokemusten perusteella. Myös koeasemilla aloitettiin parannustyöt, joilla niiden tehokkuutta voitiin nostaa v. 2015 alussa käynnistettäviä kokeita varten.

Vuoden 2012 datan analysointi saatiin lopullisesti valmiiksi kesän 2013 alan pääkonferensseihin. Neljän leptonin hajoamiskanavan avulla uuden bosonin massaksi mitattiin 125,8 GeV/c^2. Mittauksen tilastollinen virhe oli 0,5 GeV/c^2 ja systemaattinen virhe 0,2 GeV/c^2. Myös analyysit uuden hiukkasen spin- ja pariteettikvanttiluvuista saatiin valmiiksi. Analyysi perustui edelleen Higgs-hypoteesin mukaisten hajoamisreaktioiden ennusteiden sekä muitten hypoteesien ennusteiden vertaamiseen mitattujen suureiden jakautumien kanssa. Vertailujen perusteella voitiin päätellä, että löydetyn hiukkasen spin ja pariteetti ovat

Higgsin hypoteesin mukaisia (spinkvanttiluku = 0 ja pariteetti positiivinen). Muut hypoteesit voitiin sulkea pois 95 % todennäköisyydellä.

Näin oli viimeinen aineen perusrakenteen standardimallin hiukkanen löydetty ja suunta jatkotutkimuksille osoitettu. Päätös ajaa Run1-vaihe 7 ja 8 GeV.n energioilla osoittautui myös oikeaksi.

Run1:n aikana kerätty data tarjosi mahdollisuudet tutkia laajalti eri aiheita. Ensimmäinen kysymys luonnollisesti oli, oliko löydetty hiukkanen standardimallin Higgsin bosoni vai standardimallin laajennusten ennustama Higgsin hiukkanen. Jälkimmäisessä tapauksessa niitä pitäisi olla useampia ja havaittu hiukkanen voisi olla niiden ennustama neutraalivarauksinen hiukkanen. Laajennuksista kaikkein aktiivisimman tutkimuksen kohteena oli supersymmetria-teoria, joka tarjoaa ratkaisuja standardimallin ongelmiin, kuten Higgsin bosonin massan stabilisointiin tai pimeän aineen olemassaoloon. Myös ylimääräisten avaruusdimensioiden olemassaolo ja kvanttimekaaniset mikroskooppiset mustat aukot olivat tutkimuksen kohteena. Samalla tietysti jatkettiin standardimallin tarkkuustestejä, sillä niissä mahdolliset esille tulevat poikkeamat voivat myös paljastaa ”uuden fysiikan” olemassaolon.

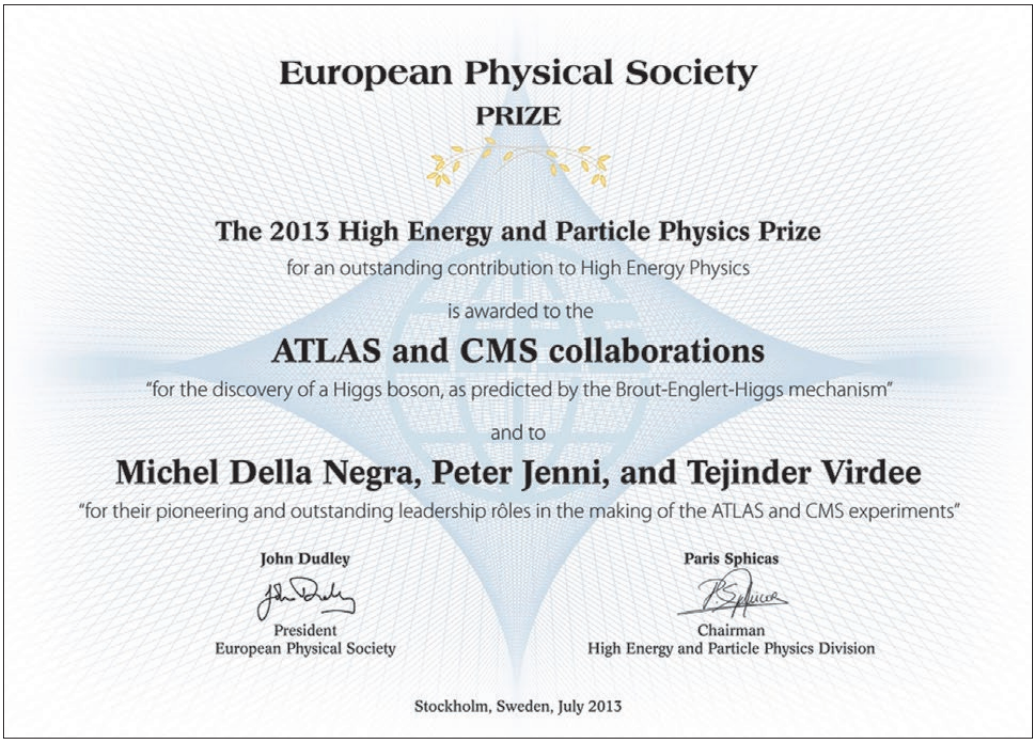
Run1-datan analyysiä jatkettiin vv. 2013–2014 seisokin aikana ja vielä Run2:n aikana vuodesta 2015 eteenpäin. Tutkimuksista on julkaistu tätä kirjoittaessa kaikkiaan yli 700 artikkelia referoiduissa tiedelehdissä. Mitään uutta signaalia ei ole löytynyt, mutta tuloksena oli suuri joukko eri teorioiden ennustamien hiukkasten massojen ja vaikutusalojen alarajoja.

20.2. Palkintoja Higgsin bosonin löytämisestä

Vuoden 2013 Nobelin fysiikan palkinto annettiin odotetusti Higgsin bosonin löytymisen johdosta. Sen saivat professorit Peter Higgs (Edinbourghin yliopisto) ja Francois Englert (Brysselin yliopisto), ”… for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider”.

”… teoreettisen mekanismin keksimisestä, joka selittää subatomaaristen alkeishiukkasten massan syntymistä ja joka äskettäin vahvistettiin kokeellisesti mekanismin ennustaman hiukkasen löytymisellä ATLAS- ja CMS-kokeissa CERNin Large Hadron Collider -törmäyttimellä.”

Monet fysiikan tärkeistä löydöistä vaativat nykyään valtavat aineelliset ja henkilöresurssit. Usein ei enää ole mahdollista tai on ainakin vaikeata nimetä yksittäisiä fyysikoita palkintojen saajiksi. Tämä on ollut pitkään ongelmana hiukkasfysiikassa Nobelin palkintoa jaettaessa, kun Nobelin testamentin tulkinnan mukaan saajia voi olla enintään kolme. Joissakin tapauksissa, kuten aikanaan UA1-kokeessa ja myöhemmin neutriino-kokeissa sekä äskettäin



EPS:n hiukkasfysiikan jaoston v. 2013 palkinnon kunniakirja (Kuva EPS)

gravitaatioaaltojen löytämisessä, on joidenkin yksittäisten fyysikoiden panos kokeiden suunnitteluun ja johtamiseen voitu katsoa riittävän suureksi palkinnon saamiseksi. Euroopan Fyysikkoseuran (EPS) Hiukkasfysiikan jaosto, joka jakaa fysiikan palkintonsa joka toinen vuosi, päätti v. 2005 lähtien, että palkinto voidaan myöntää myös kollektiivisesti kokeen tehneelle tutkijaryhmälle. Se menetteli näin myös LHC-kokeiden tapauksessa. EPS:n vuoden 2013 ”High Energy and Particle Physics” -palkinto myönnettiin CERNin ATLAS- ja CMS-kollaboraatioille ”Brout-Englert-Higgs-mekanismin ennustaman Higgsin bosonin löytämisestä” sekä Michel Della Negralle (CERN, nyt Imperial College, Lontoo), Peter Jennille (CERN, nyt Freiburgin yliopisto) ja Tejinder Virdeelle (CERN ja Imperial College) ”heidän uraauurtavasta ja merkittävästä johtavasta roolistaan ATLAS- ja CMS-kokeiden rakentamisessa”. Della Negra, Jenni ja Virdee toimivat ATLAS- ja CMS-kokeiden ensimmäisinä puhemiehinä.

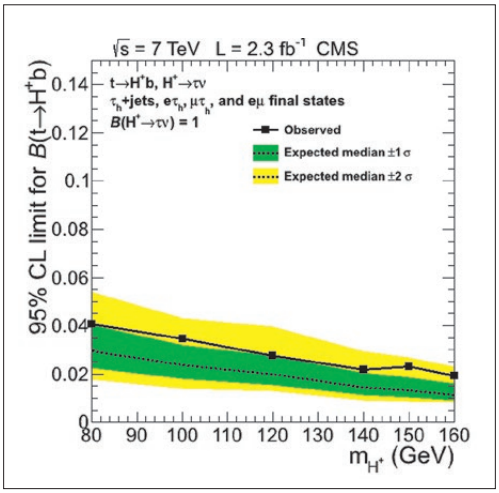
20.3. HIPin CMS-ryhmän uutta fysiikkaa koskevat tutkimukset Run1:n aikana

LHC-kokeiden ensimmäisenä päätavoitteena oli selvittää sähköheikon vuorovaikutuksen symmetrian spontaania rikkoutumista ja etsiä Higgsin bosonia. CMS ja ATLAS ovat toisaalta monitavoitteisia kokeita, joilla voidaan tutkia laajalti standardimallin ennusteita ja toisaalta ”uutta fysiikkaa”, poikkeamia standardimallista. Tämä uuden fysiikan etsiminen on toinen kokeen päätavoitteista. Run1:n aikana tämä muodosti suuren osan CMS-kokeiden fysiikan analyysistä. HIPin CMS-ohjelman ”CMS experiment” -projekti jatkoi tutkimusta aiheista, joista sillä oli ollut vastuuta jo simulaatiovaiheessa. Näistä sähkövarauksellisen Higgsin hiukkasen etsiminen on nimenomaisesti uuden fysiikan tutkimusta. Siinä keskityttiin Minimum Supersymmetric Model -teorian (MSSM) ennustamien hiukkasten, lähinnä sähkövarauksellisen $H^{\pm}$ -bosonin etsintään. HIPin ryhmällä oli aiheesta takanaan pitkä simulaatiotutkimusten antama kokemus.

Projektissa työskentelivät edelleen PhD Kati Lassila-Perini, dos. Veikko Karimäki, dos. Ritva Kinnunen, FT Sami Lehti, FT Lauri Wendland, tohtoriopiskelijana DI Matti Kortelainen ja adjungoituna tutkijana CMS emeritus, dos. Jorma Tuominiemi.

Lauri Wendland oli päättänyt MSSM-tutkimuksen simulaatiovaiheen v. 2009 väitöskirjallaan ”Identification of Hadronically Decaying Tau Leptons in Searches for Heavy MSSM Higgs Bosons with the CMS Detector at the CERN LHC”. Väitöstilaisuus pidettiin Helsingin yliopistossa 27.11.2009. Wendlandin vastaväittäjänä toimi professori Markus Schumacher Freiburgin yliopistosta ja ATLAS-kollaboraatiosta. Wendlandin väitöskirja käsitti laajan esityksen HIPin ryhmän kehittämistä analyysimenetelmistä sähkövarauksellisen Higgsin bosonin etsimiseksi sekä arvion ennusteiden mukaisista signaalin ja taustan suuruuksista. Wendlandin väitöskirja sijoittui CMS-kollaboraation thesis-kilpailun kärkeen v. 2010.

Tau-leptonien tunnistaminen on tärkeä osa MSSM:n Higgsin bosonien etsinnässä. Niiden liipaisu ja rekonstruktio oli ollut HIPin ryhmän keskeinen aktiviteetti simulaatiovaiheessa. Muista kuin Higgsin hiukkasen hajoamisesta tulevien tau-leptonien taustan arvioimiseksi kehitettiin uutena työkaluna ”tau embedding” -menetelmä, joka perustuu μ- ja tau-leptonien ominaisuuksien samankaltaisuuksiin (lepton universality). Menetelmässä datasta poimittiin törmäystapahtumat, joissa oli liipaistu ja mitattu myoni. Myoni tulkittiin tau-leptoniksi ja sen hajoaminen simuloitiin. Näin saatiin tau-leptonin tuottoreaktio, jossa tau-leptonin hajoaminen oli simuloitu, mutta muut ominaisuudet oli mitattu. Tämä menetelmä oli käytössä DI Matti Kortelaisen väitöskirjassa, joka perustui 2010–2011 kerättyyn dataan. Kortelainen väitteli sähkövarauksellisen Higgsin bosonin etsinnästä v. 2012. Väitöskirjan otsikko oli ”Search for a Light Charged Higgs Boson in the CMS Experiment in pp Collisions at



CMS:n mittaama yläraja (95 % confidence limit) top-kvarkin hajoamissuhteelle $H^{\pm}$-bosoniin ja b-kvarkkiin pp-törmäyksissä 7 GeV:llä. Kuva Matti Kortelaisen väitöskirjasta. (CMS Collaboration)

sqrt(s) = 7 TeV". Väitöstilaisuus oli 20.12. 2012 Helsingin yliopistossa, vastaväittäjänä toimi Dr. Aleandro Nisati CERNistä ja ATLAS-kollaboraatiosta. Kortelaisen väitöskirja oli taas kärkipäässä CMS-kollaboraation väitöskirjakilpailussa. $H^{\pm}$-signaalia ei löytynyt, mutta tuloksena oli siihen asti paras arvio $H^{\pm}$-bosonin tuoton ylärajalle. MSSM:n Higgs bosonien etsintään liittyy läheisesti tau-leptonien tehokas mittaaminen. Tätä kirjoitettaessa v. 2018 HIPin ryhmä työskentelee edelleen aktiivisesti tau-leptonien liipaisualgoritmien kehitystyössä.

Toinen HIPin päätutkimusaihe on B-fysiikka, jonka parissa työskentelivät PhD Virginia Azzolini, MSc Giacomo Fedi ja FM Terhi Järvinen professori Paula Eerolan johdolla. LHC tuottaa huomattavia määriä B-hadroneita. Kun CMS-ilmaisimilla voidaan saada niiden havaitsemisessa hyvä signaali-tausta-suhde, on tämä tutkimus tärkeä osa CMS:n fysiikan tutkimusta. HIPin tutkimusryhmä keskittyi Run1:n aikana erityisesti tutkimaan B_s-mesonien hajoamista J/ψ- ja φ -mesoneihin. Hajoamiskanava on tärkeä, koska sen avulla on mahdollista tutkia poikkeamia standardimallin ennusteista. Tutkimalla B^0_s-ominaistilojen hajoamisleveyksien eroa, voidaan mitata mahdollista CP-symmetrian rikkoutumista. Giacomo Fedi teki Run1-dataan perustuvasta tutkimuksesta väitöskirjan "Studies of the B^0_s-B^0_sbar system in the CMS experiment at LHC". Väitöskirja tarkastettiin Helsingin yliopistossa 19.2.2016, vastaväittäjänä toimi Dr. Alessandro Cerri Sussexin yliopistosta ja ATLAS-kokeesta. Terhi Järvinen väitteli aiheesta Helsingin yliopistossa 18.12. 2017. Hänen vuoden 2012 dataan perustuvan väitöskirjan otsikkona oli "Precision measurements of B^0_s mesons in the CMS experiment at the LHC". Vastaväittäjä oli professori Ulrik Egede (Imperial College London).

Uutena projektina aloitettiin v. 2011 tutkimus hadroniryöppyjen energiamittauksen korjauksista (Jet energy corrections, JEC). Mikko Voutilainen, joka oli CERNin Fellow-pestillä 2009–2011, siirtyi takaisin HIPin fysiikan ryhmään toukokuussa 2011. Hän oli toiminut CMS:n JEC-ryhmän toisena koordinaattorina ja jatkoi JEC-tutkimuksia HIPissä. Ryöppyjen energiakorjaukset ovat tärkeä ja keskeinen osa törmäystapahtumien rekonstruktiota, sillä ryöpyt ovat osana lähes kaikissa törmäystapahtumissa LHC:lla. Voutilainen keskittyi tutkimaan eri alidetektoreiden kalibraatiovirheiden vaikutusta ryöppyjen energian mittauksiin Monte Carlo -simulaatioiden avulla.

Voutilaisen ohjauksessa samassa tutkimuksessa aloitti yo. Juska Pekkanen, joka teki aiheesta Run1-dataan perustuvan diplomityönsä Aalto-yliopistossa v. 2013. Pekkanen jatkoi tutkimusta Run2-dataan perustuen ja väitteli aiheesta 5.12.2017. Väitöskirjan otsikko oli ”Jet Particology & Search for new massive particles”. Vastaväittäjänä toimi Dr. Christopher Young (CERN).

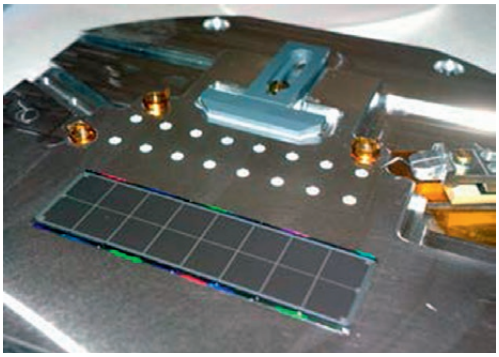
21. Kohti uusia kokeita Run1:n jälkeen

Kaikkien edellisessä luvussa esitettyjen aiheiden tutkimusta jatketaan HIPin CMS-ryhmässä. LHC-kokeet jatkuvat vv. 2015–2018 Run2-jaksona, jossa LHC:n luminositeetti on $2x10^{34}$ $cm^{-2}s^{-1}$. Tämän jälkeen LHC-tutkimussuunnitelmassa on huolto- ja uudisrakennusjakso vv. 2019-2020 ja Run3-jakso vv. 2021–2023. Tämän jälkeen aloitetaan LHC-törmäyttimen merkittävä uudisrakennusohjelma, jonka tavoitteena on nostaa LHC:n luminositeetti lähes kymmenkertaiseksi nykyiseen verrattuna. Tämä asetta uusia vaatimuksia koeasemille ja niitä on uudistettava merkittävästi. Suurin operaatio CMS-koeasemalla on sen nykyisen keskusratailmaisimen korvaaminen uudella pii-ilmaisinjärjestelmällä. Tämä ns. High Luminosity LHC (HL-LHC) on suunniteltu käynnistettäväksi v. 2026. Suuri luminositeetti parantaa merkittävästi Higgsin fysiikan mittaustarkkuutta ja ennen kaikkea mahdollisuuksia uusien, harvinaisempien ilmiöiden havaitsemista ja mittaamista. HL-LHC-kokeita on suunniteltu jatkettavaksi 2030-luvulle asti.

HIPin CMS upgrade-projektissa ”CMS-ilmaisimen toisen vaiheen valmistelu” on jatkettu säteilynkestävien pii-ilmaisimien kehitystyötä yhteistyössä CERNin RD50- tutkimusohjelman kanssa. Myös CMS-kollaboraatio käynnisti oman R&D-ohjelman säteilynkestävien ratkaisujen löytämiseen upgrade-ohjelmaansa varten. CMS:n upgrade-ohjelma on jakaantunut kahteen osaan, vuosien 2011–2017 aikana toteutettuun Phase1-projektiin ja v. 2026 käynnistettäviä suuren luminositeetin LHC-kokeita varten toteutettava Phase2-projektiin.

Phase1-projekti sisälsi uuden pikseli-ratailmaisimen rakentamisen ja sen asentamisen vv. 2016–2017 talviseisokin aikana. Alkuperäisen ilmaisimen tehokkuus oli laskemassa haitallisen alas säteilyvaurioiden vuoksi. Uuden, myös entistä tarkemman version rakentamisessa ilmaisimeen lisättiin sisimmäksi neljäs kerros, jolloin pikselien määrä kaksinkertaistui. HIP sopi v. 2012 CMS:n Tracker-projektin kanssa osan uuden ilmaisimeen tarvittavien ilmaisinmodulien rakentamisesta ja testaamisesta. Projektin johtoon nimitettiin TkT Panja Luukka. Pii-ilmaisimien ja lukuelektroniikan yhteen bondaaminen tehtiin Aalto yliopiston ja VTT:n Micronova-keskuksessa Advacam Oy:n toimesta ja laatutestaaminen HIPin detektorilaboratoriossa Kumpulassa. Modulien lopullinen kokoaminen tapahtui CERNissä CERNin, Taiwanin yliopiston ja HIPin perustamassa rakennuslaboratoriossa CERNissä. Projekti toteutettiin vv. 2012–2016.

Toinen CMS:n Phase1 upgrade -projekti oli myoni-ilmaisinjärjestelmän etusuunnan osan pinta-alan kasvattaminen lisäämällä siihen RPC-ilmaisimia. Lappeenrannan CMS-ryhmä aloitti näitä ilmaisimia varten tarvittavan lukuelektroniikan suunnittelun ja valmistamisen v. 2012 ja se valmistui Run2-ajoja varten vuosien 2013–2014 seisokin aikana.



CMS pikseli-ilmaisimen moduli mittauspöydällä ennen bump-bondausta (Kuva HIP)

Phase2-vaihe sisältää puolestaan koko Keskusratailmaisimen korvaamisen uudella laitteistolla v. 2026 alkaviin LHC-kokeisiin. Näitä kokeita varten LHC:n luminositeettia nostetaan nykyiseen verrattuna kymmenkertaisiksi, joten CMS-ilmaisimilta vaaditaan merkittävästi nykyistä parempaa säteilynkestävyyttä. CMS:n teollisuuspartnerina tässä kehitystyössä aloitti Hamamatsu Photonics -konserni, joka on toimittanut pii-ilmaisimet jo CMS:n Keskusratailmaisimeen. Hamamatsu aloitti uudentyyppisten sensorien kehittelyn ja valmistamisen. Niitä on ryhdytty testaamaan CMS:n SiBT-teleskooppilaitteistolla, jonka koordinaattorina toimi TkT Panja Luukka. Testaus käynnistyi HIPin ja FNAL:n yhteistyönä. Projektissa työskentelivät Jaakko Härkösen johdolla TkT Panja Luukka, PhD Sandór Czellár, PhD Ivan Kassamakov, TkT Eija Tuominen, FT Teppo Mäenpää, TkT Esa Tuovinen ja FM Timo Peltola.

Epilogi

Historiikkini kattaa suurin piirtein yhden tutkijauran ajan. Tätä kirjoittaessani on ollut vaikuttavaa käydä läpi sitä, kuinka valtavaa edistystä tutkimuksen menetelmissä, käytetyissä koelaitteistoissa, materiaalifysiikassa, hiukkasilmaisimissa ja ehkä kaikkein huimimmin tietojenkäsittelytekniikassa on tapahtunut. Tietokoneet ovat tehneet mahdolliseksi mittaustiedon nopean ja tehokkaan keräämisen, sen tallentamisen, tiedon käsittelyn, fysiikan analyysin ja tilastollisten menetelmien käytön tavalla, jollaisesta emme viisikymmentä vuotta sitten osanneet unelmoidakaan. Ja kehitys jatkuu edelleen yhtä vahvana.

Toinen suuri muutos on ollut kokeisiin tarvittavien resurssien kasvu. Koelaitteistoihin tarvitaan yhä enemmän suuria investointeja, mutta myös inhimillisten resurssien tarve on kasvanut merkittävästi. Kun 1960-luvulla aloitimme kuplakammiokokeissa, tutkijaryhmissä oli kymmeniä tutkijoita. UA1-kokeessa laitteisto rakennettiin ja kokeet aloitettiin noin 150 fyysikon ja insinöörin voimin ja LEP-kokeissa tarvittiin jo puolen tuhannen ihmisen panos. Ja nyt LHC-kokeissa kollaboraatiot koostuvat parista tuhannesta fyysikosta ja insinööristä.

Suomalainen tutkimus on kehittynyt tiiviisti alan mukana. Kuten tekstistä käy ilmi, olemme työskennelleet monissa alan kärkikokeissa. Yhtenä punaisena lankana on ollut aineen perusrakenteen standardimallin testaaminen. Viimeisiä standardimallin ennustamia hiukkasia, W- ja Z-bosoneja sekä Higgsin hiukkasta etsimme CERNin UA1-kokeessa, Higgsin hiukkasta edelleen DELPHI-kokeessa ja lopulta CMS-kokeessa. CERNin UA1-kokeesta ja välibosonien löytymisestä annettiin Nobelin fysiikan palkinto Carlo Rubbialle ja Simon van der Meerille v. 1984. Teoreetikot Peter Higgs ja Francois Englert puolestaan saivat Nobelin palkinnon v. 2013 Higgsin bosonin löydyttyä CERNin CMS- ja ATLAS-kokeissa. Rubbialle myönnetty palkinto on meille suomalaisille tutkijoille läheisempi, tulihan se kokeemme johtajalle. Silti myös Higgsin palkitseminen lämmitti mieltämme. Olimmehan tavoitelleet hänen ennustamansa hiukkasen löytymistä CMS-projektissa parinkymmenen vuoden ajan.

Suomessa kokeellisen hiukkasfysiikan tutkijoiden määrä ei ole LEP-projektin jälkeen merkittävästi kasvanut, mutta tutkimukseen sijoitetut aineelliset resurssit ovat sitä kyllä tehneet. Merkittävä virstanpylväs oli Suomen liittyminen CERNiin v. 1991. Se vahvisti ja monipuolisti merkittävästi yhteistyötämme CERNin ja eurooppalaisen luonnontieteiden tutkimusverkoston kanssa. Resurssien lisäämistä kokeelliseen hiukkasfysiikkaan on Suomessa aina arvosteltu, mutta tulokset ovat olleet tieteellisesti merkittäviä. Suomen tiedehallinto ansaitsee kaiken kaikkiaan hyvän arvosanan toimistaan alan hyväksi. Näkyvyyttä Suomen tieteelle on tullut ja fysiikan koulutuksen monipuolisuus on lisääntynyt. Kuten on monessa muussa maassakin todettu, sijoitukset eivät ole olleet pois muiden fysiikan alojen tai tieteiden rahoituksesta. Suomalaiset päättäjät totesivat jo CERNiin liittymistä harkittaessa ja sitten

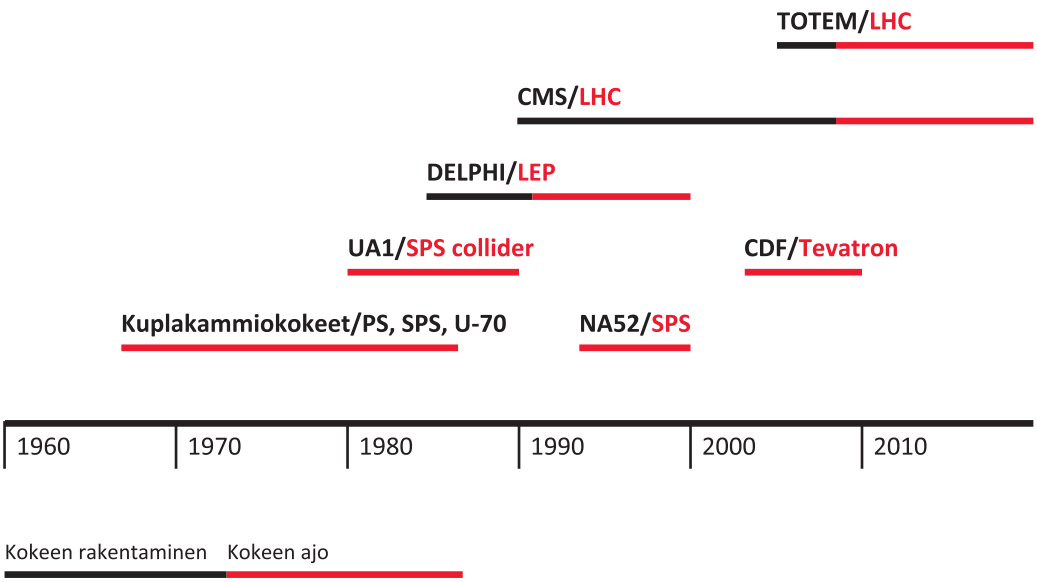
jäseneksi liittymisen yhteydessä, että se oli tärkeää Suomen kuulumiselle eurooppalaiseen – ja kansainväliseen – tiedeyhteisöön.

Kokeellinen hiukkasfysiikka on myös synnyttänyt uutta yhteistyötä useiden suomalaisten yliopistojen kesken. Hyvänä esimerkkinä siitä on Fysiikan Tutkimuslaitoksen (HIP) perustaminen ja hyvä menestys. Kansainvälisissä arvioissa HIP on saanut erittäin korkeaa arvostusta. Suomalainen hiukkasfysiikan tutkimus on myös osoittautunut hyväksi koulutusinstrumentiksi yhteiskunnan muille aloille. Mieleen tulee ennen kaikkea ITC-teknologia, mutta koulutetut maisterit ja tohtorit ovat sijoittuneet hyvin monenlaisiin tehtäviin Suomessa. CERN on ollut erityisen hyvä koulutuspaikka nuorille insinööriopiskelijoille ja onpa se ollut pitkään lukio-oppilaiden innostava yhteys moderniin tieteeseen siellä pidettyjen tiedeleirien ansiosta.

Kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimus on tehnyt Suomea tunnetuksi tiedemaailmassa ja muutenkin. Kun olen tutkijaurani aikana oleskellut ja asunut pitkään Genevessä, olen voinut seurata, miten Suomen tuntemus romaanisessa Sveitsissä ja Ranskassa CERNin lähialueella on muuttunut. Vuonna 1966 suomalainen kirvoitti paikallisilta ihmisiltä lähinnä kommentteja marsalkka Mannerheimistä, mutta vuonna 2012 Suomi on heille tunnettu eurooppalainen maa, vaikka meitä edelleen niputetaankin yhteen skandinaavien kanssa. Mikä ei sinänsä ole huono juttu.

Tämän historiikin päättymisajankohdan jälkeen tutkimus alalla on jatkunut menestyksekkäänä. Sitä olen voinut nyt harmaana eminenssinä tyytyväisenä seurata. Kokeellisen hiukkasfysiikan projektit houkuttelevat edelleen lahjakkaita nuoria tutkijoita. Nykynäkymien pohjalta ja olettaen, etteivät alalle ohjattavat resurssit tulevaisuudessa pienene, voimme odottaa menestyksellistä tulevaisuutta suomalaisille hiukkasfysiikan tutkijoille. Yksin CERNin tutkimusohjelma tarjoaa mitä kiehtovimmat näkymät ja haasteet tutkimukselle ja tekniselle toiminnalle ainakin parin vuosikymmenen ajaksi.

Tässä kirjassa käsiteltyjen tutkimushankkeiden aikajanat



Kokeellisen hiukkasfysiikan väitöskirjat Suomessa 1970–2017

Jorma Tuominiemi, ”Exchange mechanisms in three body K^+ collisions”, Helsingin yliopisto, 12.12.1970.

Petri Laurikainen, ”Multiple Scattering and Track Reconstruction”, Helsingin yliopisto, 27.11.1971 (Report Series in Physics No. 35).

Mauri Korkea-aho, ”Analysis of the Three- and Four-body Strange Particle Final States from p-p Interactions at 3.9 GeV/c”, Helsingin yliopisto, 1.12.1973 (Report Series in Physics No. 64).

Siv-Britt Ljung, ”Two and Three Pion Production Reactions in pp-interactions at 19 GeV/c”, Helsingin yliopisto , 3.8.1974.

Veikko Karimäki, ”Studies of Statistical Features of Multi-Particle Production in Momentum and Isospin Space”, Helsingin yliopisto, 13.12.1975 (Report Series in Physics No. D6).

Esa Riipinen, ”A Method and an Operation System for the Sweepnik Calibration”, Helsingin yliopisto, 26.2.1976, (Report Series in Physics No. D8).

Heimo Saarikko, ”Studies on Inclusive Meson Resonance and Particle Production”, Helsingin yliopisto, 29.12.1978 (HU-P-D13).

Risto Orava, ”Quark jets”, Helsingin yliopisto, 10.6.1981 (Fermilab FN-335 7240.180).

Pilvi Villanen, ”Strange Particles in 22.4 GeV/c Antiproton-Proton Interactions”, Licentiate thesis, Helsingin yliopisto, joulukuu 1982 (HU-P-216).

Kari Valtonen, ”Elektronien tuotto antiprotoni-protoni-kokeessa WA31”, Lisensiaattitutkielma, Helsingin yliopisto, 8.2.1983.

Ritva Kinnunen, ”Production and decay of intermediate vector bosons and top quark in p-pbar-collisions at 540 GeV/c.”, Helsingin yliopisto, 27.9.1984 (HUP-P-D421).

Martti Pimiä, ”Track finding in the UA1 central detector at the CERN p-pbar Collider”, Helsingin yliopisto, 18.12.1985, (HUP-P-D45).

Markku Ellilä, ”On the performance of the DELPHI Hadron calorimeter”, Teknillinen korkeakoulu, 1989 (Acta Physica Scandinavica, Applied Physics series 159).

Tuure Tuuva, ”Silicon strip detectors with VLSI read-out”, Helsingin yliopisto, 26.4.1990 (HUP-P-D54),

Paula Eerola, ”A Search for New Heavy Particles in Z^0 Decays at LEP”, Helsingin yliopisto, 26.10.1990 (HU-SEFT-1990-01).

Martti Voutilainen, ”DELPHI Hadron Calorimeter Control Electronics”, Helsingin yliopisto, 1991 (SEFT Report Series 1991-08).

Reino Keränen, ”Energy Measurement in Collider Experiments and Search for Scalar Quarks in Z^0 Decays at LEP I” , Teknillinen korkeakoulu, 20.9.1991 (HU-SEFT-1991-09).

Jukka Lindgren, ”On the development of the Microvertex detector for DELPHI” , Teknillinen korkeakoulu, 11.12.1992 (SEFT-1992-07).

Mikko Laakso, ”Radiation detection techniques for high energy physics and industrial applications”, Teknillinen korkeakoulu ,1993 (SEFT RD 1992-01).

Camilla Rönnqvist, ”Silicon Microstrip Detectors for Imaging Applications”, Helsingin yliopisto, 30.6.1995 (SEFT-1995-03).

Panu Jalas, ”Energy Dispersive X-ray Detectors with Planar Processing Technology”, Helsingin yliopisto, 6.7.1996 (SEFT 1996-12).

Richard Brenner, ”Aspects of the DELPHI Vertex Detector and the Future Silicon Trackers at LHC”, Åbo Akademi, 20.11.1996 (SEFT-1996-26).

Timo Korhonen, ”Real-Time Computing with Parallel Processors: The VENUS Second Level Trigger”, Helsingin yliopisto, 22.5.1997 (HIP-1997-04).

Rego Ostonen, ”A study of Hadronic Events with the L3 Detector”, Helsingin yliopisto, 29.11.1997 (HIP-1997-07).

Kenneth Österberg, ”Search for New Physics in the Lepton Sector of the Standard Model at LEP I”, Helsingin yliopisto, 21.2.1998 (HIP-1998-01).

Jukka Klem,”Proton Extraction from a High Energy Beam with Bent Crystals”, Teknillinen korkeakoulu, 24.8.1998 (HIP-1998-02).

Marco Battaglia, ”Study of Rare Decays of the b Quark with the DELPHI Detector at LEP”, Helsingin yliopisto, 11.3.1999 (HU-P-D71).

Tomas Lindén, ”Strangelet search and particle production studies in Pb-Pb collisions at 158xA GeV/c with the H6 beam line spectrometer at CERN”, Helsingin yliopisto, 25.11.2000, (HU-P-D66).

Sami Lehti, ”Prospects for the Detection of Neutral MSSM Higgs Bosons Decaying into Tau Leptons in the CMS Detector”, Helsingin yliopisto, 24.11.2001.

Jukka Kokkonen, ”A silicon detector for neutrino physics”, Teknillinen korkeakoulu, 17.6.2002 (HIP-2002-03).

Eija Tuominen, ”Development of Radiation Hard Radiation Detectors – Differencies between Czochralski Silicon and Float Zone Silicon”, Teknillinen korkeakoulu, 10.10.2003 (HIP 2003-02).

Ari Kiiskinen, ”Looking for Physics Beyond the Standard Model: Searches for Charged Higgs Boson at e^+e^- Colliders”, Teknillinen korkeakoulu, 16.4.2004 (HIP-2004-01).

Donatella Ungaro, ”The Link Board Controls in the RPC Trigger System for the CMS Experiment”, Helsingin yliopisto, 18.6.2004 (HIP-20004-04).

Laura Salmi, ”Reconstruction of B Hadron Decays at DELPHI”, Teknillinen korkeakoulu, 24.3.2006 (HIP-2006-01).

Panja-Riina Luukka, ”Characterization of Radiation Hard Radiation Detectors”, Teknillinen korkeakoulu, 26.5.2006 (HIP-2006 -04).

Elias Noschis, ”Planar Edgeless Detectors for the TOTEM Experiment at the Large Hadron Collider”, Helsingin yliopisto, 20.6.2006 (HU-P-DI32).

Juha Kalliopuska, ”Search for a light Higgs boson in central exclusive diffraction; methods and detectors”, Helsingin yliopisto 24.4. 2007 (HU-P-D139).

Tapio Lampén, ”Detector Alignment Studies for the CMS Experiment”, Teknillinen korkeakoulu, 20.7. 2007 (HIP-2007-02).

Tuula Mäki, ”Top Quark Mass Measurement”, Teknillinen korkeakoulu, 18.3.2008 (HIP-2008-01).

Mikko Voutilainen, ”Measurement of the inclusive jet cross section in p-pbar-collisions at the center-of-mass-energy of 1.96 TeV”, Teknillinen korkeakoulu, 1.7. 2008 (HIP-2008-05).

Esa Tuovinen, ”Processing of Radiation Hard Particle Detectors on Czochralski Silicon”. Teknillinen korkeakoulu, 31.10.2008 (HIP-2008-07).

Kukka Banzuzi, ”Trigger and Data Link System of CMS Resistive Plate Chambers at the LHC Accelerator”, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 28.11.2008 (Acta Universitatis Lappeenrantaensis 324).

Aatos Heikkinen, ”Geant4 hadronic cascade models and CMS data analysis: computational challenges in the LHC era”, Helsingin yliopisto, 13.8.2009 (HIP-2009-02).

Lauri Wendland, ”Identification of Hadronically Decaying Tau Leptons in Searches for Heavy MSSM Higgs Bosons with the CMS Detector at the CERN LHC”, Helsingin yliopisto, 27.11.2009 (HU-P-D170).

Giovanni Polese, ”The Detector Control Systems for the CMS Resistive Plate Chamber at LHC”, Lappeenrannan teknillinen yliopisto 13.12.2009 (Acta Universitatis Lappeenrantaensis 365).

Teppo Mäenpää, ”Position-sensitive silicon strip detector characterization using particle beams”, Helsingin yliopisto, 20.5. 2011 (HIP-2011-01).

Matti Kortelainen, ”Search for a Light Charged Higgs Boson in the CMS Experiment in pp Collisions at sqrt(s) = 7 TeV”, Helsingin yliopisto, 20.12.2012 (HIP-2012-06).

Erik Brücken, ”Observation of Central Exclusive Diphoton Production at the Tevatron” Helsingin yliopisto, 24.5.2013 (HU-P-D203).

Francesco Devoto, ”Search for the Higgs Boson in the All-Hadronic Final State using the CDF II Detector”, Helsingin yliopisto, 13.11. 2013 (HU-P-D211).

Timo Hildén, ”Quality Assurance of Gas Electron Multiplier Detector”, Helsingin yliopisto, 5.3. 2015 (HU-P-D226).

Timo Peltola, ”Numerical Simulations of Semiconductor Radiation Detectors for High-Energy Physics and Spectroscopy Applications”, Helsingin yliopisto, 11.3.2016 (HIP-2016-01).

Giacomo Fedi, ”Studies of the B_s^0- B_s^0bar system in the CMS experiment at LHC”, Helsingin yliopisto, 19.2.2016 (HIP-2016-02).

Jan Welti, ”Inelastic, non-diffractive and diffractive proton-proton cross-section measurements at LHC”, Helsingin yliopisto, 3.11.2017 (HU-P-D253).

Juska Pekkanen, ”Jet Particology & Search for New Massive Particles”, Aalto yliopisto, 5.12.2017 (Doctoral dissertations 198/2017).

Terhi Järvinen, ”Precision measurements of B_s^0 mesons in the CMS experiment at the LHC”, Helsingin yliopisto 18.12. 2017 (HIP-2017-03).

Käytetyt lyhenteet

ALEPH	Koeasema CERNin LEP-törmäyttimellä (1989–2000)
ALICE	”A Large Ion Collider Experiment”. Koeasema CERNin LHC-törmäyttimellä. Kokeessa tutkitaan suurenergisiä raskasionitörmäyksiä (2009-).
ATLAS	”A Toroidal LHC ApparatuS”, toinen pääkoeasemista CERNin LHC-törmäyttimellä (2009–)
BEBC	Big European Bubble Chamber, CERNissä v. 1973–1984 toiminut kuplakammio.
CEA	Commissariat à l’energie atomique et aux energies alternatives, ranskalainen tutkimusjärjestö.
CERN	Euroopan ydintutkimusjärjestö (European Organization for Nuclear Physics) Nimilyhennystä käytetään myös Genevessä sijaitsevasta tutkimuslaboratoriosta, jolla on myös nimi European Laboratory for High Energy Physics. Kirjainyhdistelmä tulee CERNin perustamista 1951–54 valmistelleen komitean ranskankielisestä nimestä ”Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire”.
CMS	Compact Muon Solenoid -koe, toinen pääkoeasemista CERNin LHC-törmäyttimellä (2009–)
DELPHI	A Detector with Lepton, Photon and Hadron Identification, koeasema Large Electron-Positron Colliderilla (1989–1990)
DESY	Deutsches Elektronen-Synchrotron -laboratorio Saksassa, perustettu v. 1959 Hampuriin. Nykyisin se käsittää kaksi laboratoriota, alkuperäinen Hampurissa ja Saksojen yhdistämisen yhteydessä siihen liitetty tutkimuskeskus Zeuthenissa Berliinissä. DESY on osa Saksan laajempaa tutkimusorganisaatiota Helmholz Gemeinschaftia. DESYn painopistealueita ovat olleet hiukkasfysiikka ja hiukkas-kiihdyttimet ja se osallistuu mm. LHC-kokeisiin. Tutkimusalue on 2000-luvulla laajentunut ja keskittynyt vapaaelektronilaserilla tehtävään materiaalitutkimukseen.
EHS	European Hybrid Spectrometer, CERNin kuplakammio-spektrometri-laitteisto 1982–1986.

ECFA	European Committee for Future Accelerators.
ENETRA	Kuplakammiokuvien mittauslaite.
Fermilab	Fermi National Laboratory, amerikkalainen hiukkasfysiikan tutkimuslaboratorio Chicagon lähellä Batavian kylässä. Tämä kansallinen laboratorio perustettiin v. 1967. Fermilab on yksi johtavista hiukkasfysiikan laboratorioista maailmassa. Sen Tevatron protoni-antiprotoni -törmäytin oli ennen CERNin LHC:n rakentamista suurin kiihdytinlaitteisto maailmassa. Tevatron suljettiin v. 2011.
GEANT	”GEometry ANd Tracking”, Monte Carlo tekniikkaa soveltava tietokoneohjelmajärjestelmä, jolla simuloidaan hiukkasten kulkua väliaineessa. Kehitetty alun perin CERNissä, nykyisin sitä kehittää kansainvälinen GEANT4-kollaboraatio.
GEM	Gas Electron Multiplier, MSGC-ilmaisimiin liittyvä osa.
GRASPANP	Graduate School in Particle and Nuclear Physics, opetusministeriön, Suomen Akatemian ja yliopistojen rahoittama tutkijakoulu tohtorintutkintoa varten. Koulu toimi vuosina 1995–2012.
HIP	Helsinki Institute of Physics, Fysiikan tutkimuslaitos vuodesta 1996
HTI	Hiukkasteknologian Instituutti, Teknillinen korkeakoulu 1991–1996, yhdistettiin Fysiikan tutkimuslaitokseen 1996.
HY	Helsingin yliopisto
JINR	Joint Institute of Nuclear Research, entisten sosialististen maiden ydin- ja hiukkasfysiikan tutkimuskeskus Dubnan tiedekaupungissa Moskovan lähellä, perustettu 1956. Tutkimuskeskus on edelleen kansainvälinen, jäsenmaita on 18.
IHEP, Protvino	Venäläinen hiukkasfysiikan tutkimuslaitos Serpuhovin kaupungin lähellä. Neuvostoliitto perusti laitoksen 1963 ja sillä oli aluksi käytössään maailman suurin protonisynkrotroni U-70 (70 GeV).

ISR	Intersecting Storage Rings, CERNin 30 + 30 GeV protoni-protoni-törmäytin 1971–1984
L3	Koeasema CERNin LEP-törmäyttimellä 1989–2000.
L3P	Koeasema-ehdotus CERNin LHC-törmäyttimelle 1992–1993.
LEP	Large Electron Positron Collider, CERNin e^+e^--törmäytin 1989–2000.
LHC	Large Hadron Collider, CERNin suuri protoni-protoni-törmäytin vuodesta 2009.
Ludmila	JINR:n rakentama kuplakammio Serpuhovin 76 GeV:n kiihdyttimellä.
MSGC	Micro Strip Gas Chamber, kaasutäytteinen säteilyn ilmaisin.
NORDITA	Nordisk Institut for Teoretisk (Atom)fysik, Pohjoismaiden Teoreettisen Fysiikan Tutkimuskeskus, Kööpenhaminassa 1957–2006, Tukholmassa vuodesta 2007.
OPAL	Koeasema CERNin LEP-törmäyttimellä 1989–2000.
PS	Proton Synchrotron, CERNin ensimmäinen synkrotroni-kiihdytin, käynnistyi 1959. Toimii nykyään LHC:n esi-kiihdyttimenä.
PYTHIA	Monte Carlo -menetelmää käyttävä tietokoneohjelmisto, jolla simuloidaan teorian ennustamia hiukkastörmäyksiä hiukkaskokeissa suurilla energioilla.
RAL	Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, UK. Perustettu 1957. RAL on yksi suurista Englannin kansallisista laboratorioista. Sitä operoi Englannin Science and Technologies Council.
RD5	CERNin SPS-kiihdyttimellä v. 1991–1994 tehty koe, jossa testattiin CMS-koeasemaa varten rakennettuja prototyyppi-ilmaisimia ja -laitteistoja.
RECFA	Restricted ECFA on ECFAn johtoryhmä.

RRB	Resource Review Board, CERNin johdon ja kunkin LHC-kollaboraation välinen LHC-kokeen johtoryhmä.
SAB	Scientific Advisory Board, Fysiikan tutkimuslaitoksen kansainvälinen tieteellinen asiantuntijaryhmä, joka nimitetään kolmen vuoden kausiksi.
SEFL	Helsingin yliopiston suurenergiafysiikan laitos 1976–1991, Fysiikan laitoksen suurenergiafysiikan laboratorio 1991–1996.
SEFT	Helsingin yliopiston Suurenergiafysiikan tutkimuslaitos 1991–1996, yhdistettiin Fysiikan tutkimuslaitokseen (HIP) 1996.
SITRA	Suomen itsenäisyyden juhlarahasto. Perustettu v. 1967.
SPS	Super Proton Synchrotron, CERNin 450 GeV:n synkrotronihiukkaskiihdytin. Toimii nykyisin myös LHC:n esikiihdyttimenä.
SSC	Superconducting Super Collider, Yhdysvaltojen suuri protoni-protoni-törmäytinhanke (40 TeV), joka keskeytettiin suuriksi kasvaneiden kustannusten vuoksi v. 1993. Laitteen rakennustöitä oli ehditty tehdä v. 1991 lähtien.
Sweepnik	Kuplakammiokuvien automatisoitu mittauslaite (YFL, SEFL).
Tevatron	Fermin kansallisen laboratorion protoni-antiprotoni-törmäytin 1983–2011.
TOTEM	”TOTal Elastic and diffractive cross section Measurement”, Yksi CERNin LHC-törmäyttimen kokeista. Toimii CMS-koeaseman yhteydessä.
Tracker	Hiukkaskiihdyttimillä tehdyissä hiukkasten törmäyskokeissa syntyvien hiukkasten ratoja mittaava hiukkasilmaisin.
TFT	Helsingin yliopiston Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitos 1964–1996.
U-70	”Uskaritel-70”, Neuvostoliittolainen 76 GeV:n synkrotroni Serpuhovissa vuodesta 1967.

UA1	Underground Area 1, koeasema CERNin SPS protoni-antiprotoni-törmäyttimellä 1979–1989.
UCLA	University of California Los Angeles.
TKK	Teknillinen korkeakoulu, Helsinki.
YFL	Helsingin yliopiston ydinfysiikan laitos 1960–1978.
YLT	Ydinfysiikan laskentatoimisto 1967–1978.

Lähteet ja viitteet

1. Alkuvaiheet. CERN ja pohjoismainen yhteistyö kuplakammiofysiikassa.

Cronström: Arkhimedes 4/2007

Helsingin yliopiston konsistorin pöytäkirjat 1966–2012.

Takala, Gyllenberg 1969: OPM 6.4.1970/8335/85/69

Tienari, Martti (toim.): *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa.* Jyväskylä 1993.

Laurikainen, Roos, Tuominiemi 1972: kts. Laurikainen, Rousku 1973.

Valtion tiedeneuvoston ja sen työvaliokunnan pöytäkirjat 1967–1973. Kts. Laurikainen, Rousku 1973.

D. J. Davis, O. R. Frisch, G. S. B. Street: *Sweepnik, A fast semiautomatic track-measuring Machine*, University of Cambridge, Cavendish Laboratory, HEP 69-11 (1969).

Laurikainen, Rousku 1973: K. V. Laurikainen, Jari Rousku: *Kuplakammiofysiikkaa Suomessa*, University of Helsinki, Report Series in Physics, no. A24 (1973). HIPin arkisto, Physicum, Kumpulan kampus.

Hiukkasfysiikan komitean pöytäkirjat 1968–1990, HIPin arkisto, Physicum, Kumpulan kampus.

2. Kuplakammiokokeet 1970-luvulla. Yhteistyö JINR:n kanssa.

Hiukkasfysiikan komitean pöytäkirjat 1968–1990, HIPin arkisto, Physicum, Kumpulan kampus.

Laurikainen, Rousku 1973: K. V. Laurikainen, Jari Rousku, *Kuplakammiofysiikkaa Suomessa*, University of Helsinki, Report Series in Physics, no. A24 (1973). HIPin arkisto, Physicum, Kumpulan kampus.

Valtion tiedeneuvoston ja sen työvaliokunnan pöytäkirjat 1967–1973.

Valtion Tiedeneuvosto: *”Suomen tiedepolitiikan suuntaviivat 1970-luvulla”*, Helsinki 1973, Valtion painatuskeskus.

Tieteen Keskustoimikunnan tiedepoliittinen ohjelma, Suomen Akatemia 1972.

Luonnontieteellisen tutkimuksen runko-ohjelma, Valtion luonnontieteellinen toimikunta 1973.

K. V. Laurikainen: *Esitys suurenergiafysiikan tutkimusyksikön muodostamisesta Helsingin yliopistoon*, YFL, Report Series in Physics No:tta, ISBN 951-45- 0542-5.

K. V. Laurikainen: *”Tarvitaanko Suomessa suurenergiafysiikkaa?”*, Helsingin Sanomat 13.2.1975.

Veijo Åberg: *Lisää muistia! 50 vuotta tietotekniikkaa Helsingin yliopistossa*, Helsingin yliopiston tietotekniikkakeskus, 2010.

Frank Close: *”Half life, The Divided Life of Bruno Pontecorvo, Physicist or Spy”*, Oneworld Publications 2015.

3. 1980-luku, uusi aikakausi kokeellisessa hiukkasfysiikassa: kokonaan elektroniset kokeet

Hiukkasfysiikan komitean pöytäkirjat 1968–1990, HIPin arkisto, Physicum, Kumpulan kampus.

J. Tuominiemi: *Välibosonien olemassaolon arvoitus ratkaistu*, Arkhimedes 35/1983, 221–237

J. Tuominiemi: *Miten W ja Z löydettiin? - 20 vuotta CERN:n suuresta saavutuksesta*, Arkhimedes 2/2003, 21–30

V. Karimäki: *Välibosoni ja tietokoneet*, Korkeakoulujen atk-uutiset 1/1983.

”Evaluation of scientific research in Finland in experimental nuclear and high energy physics”, 8.7.1985, Suomen Akatemian raporttisarja 1985.

M. Pimiä, V. Karimäki, J. Tuominiemi: *Silicon strip detector for UA1*, UA1 Technical note 1987/CERN.

Herwig Schopper: *LEP, The Lord of the Collider Rings at CERN 1980–2000*, Springer 2009.

4. Suomen liittyminen CERNin jäseneksi

Scientific and technical collaboration between The European Organization for Nuclear Physics (CERN) and the Academy of Finland: *Memorandum of Understanding*, Geneva 29 January 1985. SEFL:n arkisto, Kumpula.

Suurenergiatutkimuksen työryhmän mietintö, Opetusministeriön työryhmien muistioita. 1987:43 (1987).

Paul Hoyer, J. Tuominiemi: Helsingin Sanomat, joulukuu 1987.

Paul Hoyer, Stig Stenholm: Arkhimedes 40 vsk, 5–18 (1988)

CERN-työryhmän muistio: *OPM:n työryhmien muistioita*, 1989: 15.

Pekka Jauho: *Ensiksi kielsin konditionaalin*, Terra Cognita, Helsinki 1999.

Olli V. Lounasmaa: *Täällä ei näperrellä – kylmäfyysikon kuumat paikat*, Kiti Mueller ja Suomen Tiedeseura, Helsinki 2008.

SEFT-työryhmän muistio 6.2.1990, SEFTin arkisto, HIP Kumpula.

Institute of Particle Physics Technology: Annual reports 1992–1996, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

LEP-projektin vuosikertomukset 1987–1990, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

SEFT Annual Reports 1991–1996, SEFTin arkisto, Physicum, Kumpula.

HTI Annual Reports 1991–1996, SEFTin arkisto, Physicum, Kumpula.

5. Kokeellisen hiukkasfysiikan tutkimushallinnon järjestelyt 1990-luvulla

Suurenergiafysiikan laitoksen johtosääntö, Helsingin yliopiston kansleri, 1051/A91.

Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen osaston kokouspöytäkirjat 1991.

Suurenergiafysiikan tutkimuslaitoksen johtokunnan pöytäkirjat 1991–1995, SEFTin arkisto, Physicum, Kumpula.

Teoreettisen fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunnan pöytäkirjat 1993–94, TFT:n arkisto Physicum, Kumpula.

Helsingin yliopiston konsistorin pöytäkirjat 1993–1994, HY Keskusarkisto.

Juhani Keinonen, Risto Nieminen, Kimmo Kaski, Juha Äystö: *Valtakunnallisen fysiikan tutkimuslaitoksen perustaminen*, muistio 9.2.1995. SEFTin arkisto, Physicum, Kumpula.

Muistiinpanot professori Olli Lounasmaan kanssa 4.–5.11. 1993 käydystä keskustelusta CERNissä, Jorma Tuominiemi, yksityinen arkisto.

Jorma Routti: *Esitys Helsingin yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun yhteiseksi fysiikan alan tutkimuslaitokseksi*, 6.9.1995, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

Fysiikan tutkimuslaitoksen perustamista selvittäneen työryhmän muistio, 14:1996, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula

Ilmaisintyöryhmän raportti, 25.9.1996, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

Fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunnan pöytäkirjat 1996 –. HIPin arkisto, Kumpula.

6. LEP ja DELPHI-koe 1990-luvulla

Risto Orava: *The SEFT Detector Laboratory and its role in Finnish High Energy Physics*, SEFT Report series HU-SEFT I 1996-04. SEFTin arkisto, Physicum, Kumpula.

Herwig Schopper: *LEP, The Lord of the Collider Rings at CERN 1980–2000*, Springer 2009.

7. CERNin LHC-projekti

M. Della Negra et al.: *”Study of muon triggers and momentum reconstruction in a strong magnetic field for a muon detector at LHC”*, CERN DRDC/90-36, P7.

Martti Pimiä: *Compact Muon Solenoid*, HU-SEFT-1990-03, SEFTin arkisto, Physicum, Kumpula.

”Esitutkimus suprajohtavaa magneettia käyttävästä muoni-ilmaisimesta (CMS) LHC-kokeita varten”, vuosikertomus 1990, SEFL/SEFT 1991, SEFTin arkisto, Physicum, Kumpula.

CMS Collaboration: *CMS – The Compact Muon Solenoid*, Letter of Intent, CERN/LHCC 92-3 (0ctober 1992)

Minutes of the CERN LHC committee 1993, CERN.

Minutes of the CERN Research Board 1993, CERN.

Mika Huhtinen, Veikko Karimäki, Juha Kuuri, Martti Pimiä; Ritva Kinnunen, Tomas Lindén, Jorma Tuominiemi; Pertti Aarnio, Kalevi Ekman, Juha Lappalainen, Maarit Rytty, Nina Salminen, Mika Salonen; Rauno Julin, Juha Äystö; Jaakko Astola, Kimmo Kaski, Lauri Kettunen, Juha Stälnacke, Esko Suhonen; Sami J. Inkinen, Kati Lassila Perini, Antti Onnela: *CMS, Compact Muon Solenoid, General Purpose Experiment for LHC*, SEFT Project application 13.10.1993, SEFTin arkisto, Physicum, Kumpula.

CMS Collaboration: *CMS – The Compact Muon Solenoid*, Technical Proposal, CERN/LHCC 94-38 (15 December 1994).

J. Tuominiemi: *”CERN teki suuret koepäätöksensä”*, Arkhimedes 4/1995, 334–336

8. NA52-koe CERNin SPS-kiihdyttimellä 1992–1999

Newmass collaboration: *Proposal for a Strangelet and Particle Search in Pb-pb collisions*, CERN/SPSLC 92-16, SPSLC / P268 (1992)

Tomas Lindén, Jorma Tuominiemi ja M. Weber et al.: *The NA52 strangelet and particle search in Pb + Pb collisions at 158 A GeV/c*, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 28 (2002), 1921–1927.

9. Fysiikan tutkimuslaitos (HIP) 1996–1999

Fysiikan tutkimuslaitoksen väliaikaisen johtokunnan pöytäkirjat 1996, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

Fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunnan pöytäkirjat 1996–2012, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

HIPin Tieteellisen neuvottelukunnan raportit 1996–2012, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

HIPin vuosikertomukset 1996–2001, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

Eero Byckling: *”Helsinki Institute of Physics: Strengthening National and International Collaboration”*, Europhysics News, vol. 29, pp. 32–33 (1998).

Detektorilaboratoriosuunnitelmien uudelleenarviointi, Asiantuntijaryhmän (R.D. Heuer, Austin Ball, Bernhard Schmidt) raportti FTL:n johtokunnalle 29.1.1999, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

Virantäyttötoimikunnan esitys kokeellisen hiukkasfysiikan professorinviran ehdollepanosta, 21.6.1999, Matemaattisluonnontieteellisen toimikunnan pöytäkirja 16.9.1999/7/2.

10. Hiukkasfysiikan tapahtumia Suomessa 1998–1999

K.Huitu (ed.), H. Kurki-Suonio (ed.), J.Maalampi (ed.), Helsingin yliopiston Fysiikan laitos ja HIP: *Proceedings of the International Europhysics Conference on high energy physics* (EPS-HEP 1999), Tampere, Finland, July 15–21, 1999

11. CMS-projektin rakennustyöt alkavat vuonna 2000

J. Tuominiemi: *CERNin uutisia*, Arkhimedes 1/1999 .

TOB Technical Design Report, CERN-LHCC-2000-016; CMS-TDR-5-add-1

J. Tuominiemi, *CERN vastaa 2000-luvun haasteisiin*, Arkhimedes 1/2000, 11–12

J. Tuominiemi: *CERN sulkee LEP-törmäyttimen ja suuntaa LHC:hen*, Arkhimedes 1/2001, 7–8

12. HIP 2001–2003

Fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunnan pöytäkirjat 2001–2003, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

HIPin vuosikertomukset 2001–2003, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

Evaluation of the Finnish CERN Activities, Panel Report Publications of the Academy of Finland 3/01

Suomen kansallinen CERN-strategia vuosille 2003–2010, työryhmän ehdotus, Suomen Akatemian julkaisuja 13/02 (2002).

Review of the Proton – Proton Forward Physics Project of the Helsinki Institute of Physics, John Dayton (Liverpool) and Günter Wolf (DESY), October 27, 2001, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

Dan-Olof Riska, Mikko Sainio: *"Suomi ja CERN"*, Arkhimedes No. 5/2003, 15–17

13. HIPin CMS-projektit koeaseman rakennusvaiheessa 2003–2008

Fysiikan tutkimuslaitoksen johtokunnan pöytäkirjat 2003–2010, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

HIPin vuosikertomukset 2003–2010, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

CMS Technical Report: Volume I, *"Detector Performance and Software"*, CERN/LHCC 2006-001 (2.2. 2006). Volume II, *"Physics Performance"* CERN/LHCC 2006-021 (25.6.2006).

Nick Ellis (CERN), Matthias Kasemann (DESY): *"Evaluation of the HIP CMS Software and Physics Project of the Helsinki Institute of Physics (HIP)"* (1.6.2006), HIPin johtokunnan pöytäkirjat 2006, Physicum, Kumpula.

Christian Joram (CERN), Michael Tyndall (RAL, UK): *Review of the CMS tracker and trigger electronics projects of the Helsinki Institute of Physics* (20.4.2007), HIPin johtokunnan pöytäkirjat 2007, Physicum, Kumpula.

14. Suomi-CERN-yhteistyöhön liittyviä tapahtumia ja vierailuja 2000–2012

15. Uusi professuuri kokeellisessa hiukkasfysiikassa 2008

HIPin johtokunnan pöytäkirjat 2008, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

16. Tieteellisen neuvottelukunnan suosituksia ja HIPin johtokunnan päätöksiä 2004–2012, RECFAn maavierailu

HIPin johtokunnan pöytäkirjat 2004–2012, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

17. CERNin LHC-törmäyttimen rakennustyöt 2000–2009

J. Tuominiemi: *CERN keskittää resurssinsa LHC:n rakentamiseen*, Arkhimedes 4/2002, 6-8 (2002)

J. Tuominiemi, *CERNissä vahdinvaihto ja uusia tuulia*, Arkhimedes 1/2004, 9–12

J. Tuominiemi: *CERNin uutisia*, Arkhimedes 5/2005, 12–15

J. Tuominiemi: *CERNin uutisia*, Arkhimedes 4/2007, 5–6

18. CERNin LHC-koeasemien rakentaminen käynnistyy v. 2001

HIPin vuosikertomukset vv. 2000–2010, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

19. LHC-kokeet alkavat – Run1

HIPn vuosikertomukset vv. 2010–2012, HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

20. Vuoden 2012 ajo – Higgsin bosoni löytyy!

First observations of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson at the LHC, ATLAS Collaboration, CMS Collaboration, Physics Letters B 716 (2012) 1-61.

Breakthrough of the Year, The Higgs Boson, M. Della Negra, P. Jenni, T. S. Virdee, ATLAS Collaboration, CMS Collaboration, Science 338, 1558-1582, 21 December 2012.

21. Kohti uusia kokeita Run1:n jälkeen

HIPn vuosikertomukset vv. 2012– , HIPin arkisto, Physicum, Kumpula.

Henkilöhakemisto

Kuvaviitteet ovat kursiivilla

A

Aarnio, Pertti 121, 122, 129, 151, 190, 336
Abbaneo, Duccio 242, 245, *255*
Abragam, Anatole 136, 138
Aderholz, Michael 29
Adams, John *69*, 81, 173
Ahlström, Krister 202
Aho, Matti 32
Ahtisaari, Martti 164
Akkanen, Irma 43
Ala-Nissilä, Tapio 159, 165
Albrow, Mike 196
Aleksan, Roy 225
Allardt, Erik 135
Amaldi, Ugo 51, 119, *135*, 145, 169
Alvarez, Luis 22, 23
Ambrosini, Giovanna *199*
Anthoine, Roger *131*
Anttila, Erkki *243*, *248*, 256
Arajärvi, Mirja 231, 234, 236
Armenteros, Rafael 26
Aspola, Kirsti *147*
Astbury, Alan 90
Aubert, J.J. 156, 181
Aubert, Pierre 117
Augustin, Jean-Eudes 148
Aulis, Elina 157
Aymar, Robert 275
Azzolini, Virginia 267, 271, 314

B

Badelek, Barbara 267
Baldin, A.M. 53
Ball, Austin 336, 206
Banzuzi, Kukka 195, 203, 222, 240, 325
Battaglia, Marco 168, 169, 323
Beck, Hanspeter *199*
Bell, John 26
Bellini, Giorgio 58
Bergström, Matti 65
Berglund, Peter 151, 152, 159, 229

Bertolucci, Sergio 265
Bethe, Hans 48
Bethke, Siegfried 216
Blechschmidt, Diether 187
Bloch, Philippe 271
Brenner, Mårten 33, 35, 46
Brenner, Richard 123, 146, 153, 154, 166, 168, 292, 323
Bogolubov, Nikolai N. 46, 58, 67
Borer, Kurt *199*
Borghini, Michel 49
Bouyanov, Oleg 226
Brown, Robert 190
Bruzzi, Mara 221
Brücken, Erick 233, 291, 325
Buchmüller, Wilfried 271
Budde, Reinhard 30
Budker, Gersh 79, 80
Bunyatov, Ilja 26
Bussière, Alain *198*
Byckling, Eero 49, 146, 151, 152, 157, 161, 162, 163, 164, 165, 188, *200*, 201, 205, 206, 208, 209, 212, 214
Böck, Rudi 88

C

Campolargo, Mario *236*
Carli,Tancredi 224
Casse, Gianluigi 249
Caton, C.A. *127*
Cerri, Alessandro 314
Chaichian, Masud 76, 77, 129, 147, 149
Chan, Hong-Mo 45
Charpak, Georges 82, 83, 159
Charriére, Gerard *26*
Chliapnikov, Pavel 73
Christov, Christov 46, *48*
Cittolin, Sergio 177, 184
Cline, David 80
Close, Frank 333
Cocconi, Wanna 88
Colaleo, Anna 222
Corden, Martin 89
Couchepin, Pascal 293

Cronström, Christofer 12, 17, 332,
Curien, Hubert *164*
Czellár, Sandór 168, 169, *172*, 220, 221, 222, 258, 271, 317

D
Dammert, Ritva 234
Darriulat, Pierre 84, 88, *94*, 98
Dayton, John 232, 337
Della Negra, Michel 155, 156, 166, 176, 177, 179, 181, 183, 190, *194*, 200, *234*, 262, *263*, 312, 335, 339
Denegri, Daniel 184, 190
Denisov, S.P. 46
De Roeck, Albert 210, 232
Deutschmann, Martin 30
Devoto, Francesco 233, 325
Dias de Deus, Jorge 81
Di Lella, Luigi 93
Dines Hansen, Jørn 87
Dissertori, Günther 254
Dittmar, Michael 200
Drijard, Daniel 105
Doble, Nils 192
Donnachie, A. 76
Donner, Kai Otto 102, 103, 128, 129, 130, 131, 134
Dromberg, Kaarina 263
Dowell, John 110
Dydak, Friedrich 180

E
Eades, John 34, 36
Eerola, Paula 105, 121, 151, 168, 191, 203, 241, 256, 266, 267, 269, 270, 271, 281, 314, 323
Eggert, Karsten 176, 177, 179, 289
Egede, Ulrik 314
Eiden, Niko 193, 194, 203
Eigen, Gerald 169, 200
Ekblom, Björn *91*, 129, 130
Eklund, Carl 192, 263
Ekman, Kalevi 152, 186, 187, 191, 263, 336
Ekspong, Gösta 17, 28, 34, 36
Ellilä, Markku 121, 122, 322
Ellis, Nick 253, 266, 338
Elcomb, Patrick *41*

Engelen, Jos *260*, 263, 268, 269, 271
Englert, Francois 306, 311, 312, 319
Engström, Pauli 243, 245, 256
Erazmus, Barbara 271
Ervanne, Jouni 59, 61
Esko, Timo 139, 148
Estola, Kari-Pekka 230

F

Fedi, Giacomo 267, 271, 314, 325
Fernández, Enrique 203
Ferrari, Alfredo 191
Fesefeld, H. 179
Fillon, Francois 293
Flückiger, Francois 265, *266*
Flygar, Marika 151
Foá, Lorenzo 119, 156, 188, 200, 217, *285*
Fogel, Carl-Gustaf 32, 33
Fogelberg, Paul 165
Fontel, Nils 15
Forsström, Pirjo-Leena 260
Foster, Brian 238
Frisch, Otto 39, 40, 48, 332

G

Gabathuler, Erwin 88, 89, *94*, 105, 106
Gagliardi, Fabrizio 226, 227
Gago, Jose M. 137
Garcia, Francisco 291
Gell-Mann, Murray 23
Gianotti, Fabiola 224, *295*, 306
Glaser, Donald 22
Glauber, Roy 48
Goldschmidt-Clermont, Yves 26, 44, 45, 68
Graeffe, Gunnar 144
Gramenitsky, Igor 52, 55
Granö, Olavi 32
Grard, Fernand 72
Green, Dan 200
Gregers Hansen, Peder 105
Gregory, Bernard 31, 46, 49
Gribov, Vladimir 52
Groethe, Monica 267

Guralnik, Gerald 307
Gustafsson, Hans-Åke 183
Gustafsson, Kenneth 237
Gustafsson, Torsten 17
Gyllenberg, Helge 40, 67, 332

H
Haapakorpi, Matti 203
Hæggström, Edward 248
Hagen, Carl R. 307
Hagman, Veli-Matti 43, 47, 61, *62*, 72, 73
Hakkarainen, Juhani 164, 205
Halkka, Olli 67
Halme, Aarne 152
Hameri, Ari-Pekka 152, 162, 200, 226, 229, 260, 262, 263, 268
Hamilo, Esko *293*
Hammarén, Esko 59
Hampton, George 31
Hannula, Elise 59, 61, *62*, 73
Hansen, Knud 34, 36
Harvima, Paula 158
Hattula, Jorma 114, 135, 139, 149, 153, 154, 157, 165, 188, *194*, 205, 226, 231, 234
Hautojärvi, Pekka 152, 165, 234
Haynes, William J. 105
Heikkinen, Aatos 192, 203, 222, 224, *266*, 270, 325
Heikkurinen, Matti 226
Heino, Jouni 291, *292*
Heiskanen, Timo 15
Helander, Elisabeth 89, 90, 100
Helisniemi, Mirja *29*
Hemmer, Frédéric 265
Hentinen, Antti 179
Heusala, Hannu 241
Heuer, Rolf-Diether 206, 207, 208, 209, 211, 264, 266, 307, 308, 336
Higgs, Peter 12, 108, 112, 167, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 179, 180, 181, 184, 186, 190, 192, 212, 223, 224, 225, 234, 251, 252, 272, 292, 295, 298, 303, 305, 306, 307, *308*, 310, 311, 312, 313, 314, 316, 319, 324, 339
Hildén, Timo 291, *292*, 325
Hilke, Hans Jürgen *121*

Himanen, Hannu *293*
Hitlin, David 210
Hoffman, Hans 90, 210, 212, 214, 227, 262
Holkeri, Harri 141
Holmgren, Sven-Olof 34, 36
Holthuizen, D.J. 43
Honkanen, Antti 193, 203, 218
`t Hooft, Gerard 217
Hoogland, Walter 142, 143, 156
Hooper, John E. 45
Hovi, Väinö 44
Hoyer, Paul 12, 34, 76, 77, 119, 120, 137, 139, 143, 148, 150, 151, 155, 161, 334
Hrynkiewicz, A. 50
Huhtaniemi, Pekka 236
Huhtinen, Mika 155, 186, 190, 191, 194, 235, 336
Huitu, Katri 157, 164, 165, 217, 337
Hynninen, Antti 145, *146*
Hytönen, Vesa-Matti 103
Hämäläinen, Hilkka 188
Hämäläinen, Keijo 267
Hämäläinen, Rauno 105, 113, 119, 133
Härkönen, Jaakko 221, *235*, *250*, 256, *270*, 271

I

Iarocci, Enzo 177
Ignatius, Janne 260
Ihamuotila, Risto 113, 114, *121*, 144, 149, 150, 154, 155, 156, 158, 161, 163
Ihamuotila, Jaakko 262
Ikonen, Eeva *194*, 230
Iliopoulos, John 202
Incandela, Joseph 218, *295*, 306, *308*
Inkinen, Sami J. 184, 336
Iskanius, Matti 240

J

Jacobsen, Tor 34, 36
Jalas, Panu 123, 191, 323
Jarlskog, Cecilia 216
Jauho, Pekka 15, 64, 135, 136, 137, 141, 142, 334,
Jenni, Peter 166, 168, 176, 180, 183, 312, 339
Jentschke, Willibald 48

Joensuu, Jorma 44
Johnstad, Harald 34, *35*, 36
Jokinen, Ari 229
Jokinen, Tapani 151
Joram, Christian 255, 338
Julin, Rauno 208, 231, 336
Juntunen, Mikko 179, 209
Junnila, Raimo 134
Juuso, Hannu 293
Juutti, Pauli 230
Juva, Mikko 41
Jäppinen, Arvo 205, 233
Järvinen, Terhi 314, 326

K

Kaartinen, Markku 25, 30,
Kaitaniemi, Pekka 224, *270*, 271
Kaivola, Matti 214
Kajantie, Keijo 12, 16, *29*, 34, 45, 46, 47, 49, 53, 65, 75, 87, 113, *127*, 135, 139, 155, 157, 159, 161, 180
Kalliopuska, Juha 291, 292, 324
Kamppuri, Kirsti *62*
Karén, Lauri 128, 138
Karimäki, Veikko 25, 30, 44, 45, 47, 61, *62*, 76, 87, 88, 89, 92, *99*, 100, *102*, 105, 109, 111, *129*, 155, 156, 157, 177, 184, 186, 190, 192, *194*, 203, 209, 213, 222, 224, 225, 226, 229, 251, *252*, 253, 265, 268, *270*, 271, 298, 313, 322, 333, 336
Karjalainen, A. 240
Karjalainen, Sakari 235, 236, 293
Kasemann, Matthias 253, 265, 338
Kaski, Kimmo 140, 159, 162, 334, 336
Kassamakov, Ivan 221, 256, 270, 271, 317
Katainen, Jyrki 236
Katajisto, Harri 194, 219, 220, *243*, 256
Katila, Toivo 131, 146, 149, 151, 152, 157, 161, 163, 164, 165
Kauranen, Pentti 15, 32
Keinonen, Juhani 161, 162, 165, 166, 208, 211, 267, 334
Keiski, Riitta 231
Kekkonen, Timo 231
Kellner, Gottfried 30
Keränen, Reino 121, 168, 323

Keski-Kuha, Pertti 72, 73
Khoze, Valery 233
Kibble, Tom 307
Kivinen, Hanna-Mari 267
Kleimola, Matti 152
Klem, Jukka 192, 203, *265*, 323
Kiikka, Maire 25, 37
Kinnunen, Ritva 44, 87, 88, 89, 92, *99*, *102*, 103, 105, 111, *129*, *147*, 151, 156, 177, 179, *181*, 186, 190, 192, *194*, 203, 222, 252, *270*, 271, 313, 322, 336
Kivistö, Kalevi 67
Kittel, Wolfram 74
Kleimola, Matti 152
Kofoed-Hansen, Otto 46
Kogan, Leonid 53
Koivo, Heikki 157
Koivuniemi, Jaakko 229
Kokkonen, Antero 65
Kokkonen, Jukka 194, 324
Korhonen, Timo 105, 111, 323
Korkea-aho, Mauri 30, 34, 35, 44, 45, *60*, 61, 62, 65, 67, 322
Korpela, Arja 240
Kortelainen, Matti *270*, 271, 313, 314, 325
Kortesmaa, Jarmo 219, *243*, *244*, 245, 256
Koskenvaara, Tuula *29*
Koski, Kimmo 265
Kotamäki, Miikka 152, 193, 194, 195, 203, 213
Kracklauer, Aloisius 115
Kroo, Norbert 202
Kullander, Sven 159, 230
Kultamaa, Mervi *293*
Kummer, Wolfgang 76, 217
Kuparinen, Alpo 139
Kurenniemi, Erkki 47
Kurki-Suonio, Hannu 217, 225, 337
Kurki-Suonio, Kaarle 33
Kuronen, Auli *219*, 220, *243*, 245, 256
Kurvinen, Kari 121, 166, 168, 291, *292*
Kuuri, Juha 155, 186, 336
Kuusi, Juhani 135
Kuzin, L. 154
Kyttälä, Erkki 59
Kärkkäinen, Anna-Maija 226

L

Laakso, Ilkka 44, 45
Laakso, Mikko 122, 123, 157, 166, 183, 323
Laasonen, Kari 226
Laihomäki, Tapio 220
Laine, Jermu 137, 138
Lampén, Tapio 223, 224, 251, *252*, *270,* 271, *271,* 298, 302, 324
Landau, Lev 53
Lanius, Karl 59
Lappalainen, Juha 152, 336
Larsson, Mats 269, 271
Lauhakangas, Rauno 40, *44,* 73, 78, 119, 122, *131,* 168, 179, 291, *292*
Laurikainen, Kalervo Vihtori 15, 16, 17, 18, 25, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 39, 40, 41, 46, 48, 54, 55, 56, 57, 58, 63, 64, 65, 66, 75, 76*, 120,* 138, 332
Laurikainen, Petri 29, 36, 37, 45, 59, 62, 78, 88, 89, 119, 332, 333
Laurila, Erkki 15, 32
Lanzacorta, M. 179
Lassila-Perini, Kati *194,* 222, 252, 262, 271, 273, 313
Lederman, Leon 51, 159
Lefébure, Veronique 223
Lemonne, Jacques 72
Lehti, Sami 223, 224, *252*, *270*, 271, 313, 324
Lehto, Olli 65, 101, *102,* 103, *120*
Leino, Matti 263, 273
Lettow, Sigurd 264
Leutwyler, Heinrich 268, 269
Levéque, Antoine 90
Li, Zheng 221
Liikamaa, Rauno *285*
Lillethun, Egil 87
Lindberg, Jarl Johan 64
Lindblom, Peter *29,* 30, 31, 35, 36, *37*
Lindén, Tomas 186, 197, 198, *199,* 216, 220, 222, 224, *252,* 259, *270,* 271, 302, 324, 336
Lindgren, Jukka 123, 323
Linglin, Denis 88
Lindfors, Olavi 53
Lindfors, Juha 111
Linna, Markku *131*, 132, 141

Liikanen, Erkki *236*
Lipas, Pertti 138
Lintu, Pekka 143
Ljung, Siv-Britt *29,* 30, 45, 47, 51, 52, 55, *59*, 59, 61, *62,* 322
Llewellin Smith, Cristopher 187
Lock, W. Owen 46, *127*
Lounasmaa, Olli V. 49, 67, 137, 140, 142, 159, 161, 163, 217, 334, 335
Luomala, Esa 164
Luukka, Panja 221, 249, *250,* 251, 256, *270,* 271, *300,* 316, 317, 324
Luukkala, Mauri 146, 148, 149, 150
Lång, Ulla 164
Lähdeoja, Matti 135, 139, 141, 142, 143, 146, 148, 150, 205

M

Maalampi, Jukka 44, 157, 230, 337
MacIntyre, Peter 80
Maiani, Luciano 171, 233, 234, 236
Makkonen, Simo 149, 157
Malmberg, Matti 65
Malmberg, Ossi 263, 293
Mattila, Markku *194*, 263, 264, 293
van der Meer, Simon 80, *94*, 101, 134, 319
Mehtälä, Petteri *292*
Mertanen, Sinikka 158
Miashita, Shige 59
Michael, Chris *48*
Miettinen, Aila *28, 43*
Miettinen, Hannu I. 45, 47, 81, *127,* 130, 131, 142
Mihul, Aleksandru 53, 54
Mitterrand, Francois 117
Misukka, M. 151
Moilanen, Henri *252,* 256, *270*
Mollerud,Ragnar 36
Montanet, Lucien 44
Montonen, Claus *29*, 47, 216, 217
Moorhead, W.G. 37, 45
Morinaga, Haruhiko 105
Morrison, Douglas 44, 88
Muirhead, Hugh 43
Munther, Reijo *194*
Mustajoki, Arto 158, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 205

Muttilainen, Olli 164, 165
Mäenpää, Martti 214
Mäenpää, Teppo 193, 220, 221, 248, *249, 250*, 251, *252*, 256, *270*, 317, 325
Mäkelä, Jaakko 25, *29*, 30, 43, 47, *62*, 73, 111
Mäki, Tuula 232, 291, 324

N

Nakada, Tatsuya 273
Neppius, Jukka 105, 111
Neuvo, Yrjö 157, 184
Nevanlinna, Rolf 75
Newman, Paul 298
Niemi, Antti 146, 151, 153, 157
Nieminen, Risto 140, 161, 162, 205, 230, 259, 334
Niinikoski, Tapio 49, 129, *129*, 142, 144, *264*
Niiniluoto, Ilkka 227
Niinistö, Lauri 152
Niittylahti, Jarkko 184
Nikitenko, Aleksandr 223
Nikkarinen, Marja 158, 164
Nilsson, Sigward 36, 45
Nisati, Aleandro 177, 314
Nomokonov, V. 169
Nordberg, Markus 122, 151, *194*
Norton, Alan 89, 110
Noschis, Elias 291, 324
Nowak, S. 52, 53
Nummela, Saara 220, 221
Numminen, Antti *62*, *292*
Numminen, Jaakko 145, *146, 147*
Nummi, Pertti *62*
Nygren, Tapio *42*, 52, 55
Nyman, Tommi 152, 191, 193
Nystén, Jukka 232

O

Oinonen, Markku 238, 268
Oittinen, Reino 31
Oja, Aarne 271
Ojanen, Pekka 264
Oksakivi, Tuomo 111
Okun, Lev 52

Olhede, Torleif 34, 36, *37*
Oljemark, Fredrik 291
Olsen, Jim 267
Orava, Risto 45, 55, *62*, 87, 88, 119, 121, 122, *135,* 144, 146, 148, 149, 150, 151, 156, 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 162, 164, 165, 166, 181, 183, 184, 187, 200, 209, 210, 212, 213, 214, 226, 228, 229, 232, 233, 262, 268, 270, 273, 291, 322, 335
Osara, Lumikki 48

P

Paatero, Pentti 25
Pajanne, Erkki 18, 105, 159, 164, 165, 166, 200, 214
Palmén, Ernst 65, 66, 67, 75, 76
Parzefall, Ulrich 267
Paul, Peter 230
Pauli, Anneli 231, 234, 239
Pauli, Wolfgang 76
Pekkanen, Juska 315, 326
Pellinen, Asta 59
Peltola, Timo 271, 317
Peltonen, Petri 231
Perkins, Donald 76
Perko, Tapani *62*
Perreaux, C. 128
Peskin, Michael 217
Pessa, Markus 144
Petänen, Jukka 158, 165
Pietarinen, Esko 78, 89, 90, *99*, *102*, 111, 158, 159, 177, 192, 195, 203, 222
Pietiläinen, P. 47
Pihlajaniemi, Taina 264
Pimiä, Martti 43, 59, 87, 88, 89, 92, *99*, 105, 109, 111, 149, 155, 156, 157, 162, 177, 178, 179, 183, 184, 186, 192, *264*, 322, 333, 335, 336
Pirilä, Pekka 45, 47
Pirinen, Antti 260
Plothow-Besch, H. 185
Pohjola, Hannele 143, 157
Polese, Giovanni 240, 241, 325
Pontecorvo, Bruno 51
Pontecorvo, Ludovico 51

Powell, Cecil 117
Prepula, Lauri 134
Pretzl, Klaus 196, 197, *198*
Price, Mike 152
Pulkkinen, Marja 139, 164, 165
Pulkkinen, Pentti 231, 234, 263, *293*
Pursula, Matti 262
Pölhö, Aapo 143
Pöllänen, Roy 74

Q
Quigg, Chris 52

R
Rak, Jan 268, 269, 270, 273
Radermacher, Ernst 176, 177, 190
Ragazzi, Stefano 198
Raitio, Risto 25, *29*, 30, *36*, *37,* 47, 139
Raivio, Kari 193, 234, *235*
Ranta, Osmo 135, 139
Randoll, Helmuth 127
Rantanen, Paavo 129, 130, *131*
Rask, Maija 233, *234*
Rauhala, Eero 267
Relander, Timo 134
Rembser, Josef 139, 143
Renvall, Pentti 41
Rice, Maurice 214, 268
Richter, Burton 78
Richter, Svjatoslav 53
Riipinen, Esa 18, 25, *29*, 30, 34, *38*, 39, *42*, 45, 47, 52, 61, 73, 87, 119, 322
Riska, Dan-Olof 76, 135, 165, 212, 214, 217, 228, 229, *236, 262*, 231
Rolandi, Gigi 242, 267
Roos, Matts 16, 25, 45, 56, 60, 61, 76, *147*, 149, 155, 157, 217, 332
Roser, Rob 292
Rousku, Jari 54, 55, 332
Routti, Jorma 67, 155, 157, 159, 161, 163, *164*, 335
Roy, D.P. 105, 190
Royon, Cristophe 233

Rubbia, Carlo 78, 79, 80, 81, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 91, 93, *94*, 100, 101, *102*, 103, 108, 110, 131, 134, 140, 141, 142, 143, 144, 145, *146*, *147*, 152, 156, 173, 176, 187, 319
Ruotsalainen, Sami 193, 203
Rusakovich, Nikolai 266
Ruuskanen, Vesa 45, 47, *48*, 60, 81
Rønne, B. *36, 37*
Rönnqvist, Camilla 121, 123, 323
Rydman, Walter 216
Rytty, Maarit 152, 336

S

Saarikko, Heimo 25, 30, 44, 45, 61, 73, 89, 101, 119*, 121*, 122, 135, 149, 157, 168, 228, 229, 232, 233, 268, 273, 291, 322
Saarikko, Torunn 74
Saarikoski, Henri 192, 193, 203
Sadrozinski, Hartmut 251
Sainio, Mikko *129*, 214, 226, 231, 337
Saarnivaara, Veli-Pekka *194*
Salam, Abdus 47, 48, 68
Sallinen, Aino 234, *235*
Salmi, Laura 169, 324
Salminen, Nina 152, 191, 336
Salomaa, Rainer 152, 165
Salonen, Pekka 152, 336
Saragat, Giovanni 101, *102*, 103
Sarmanto, Auvo 29, 30, *37*
Satz, Helmut 49
Savelainen, Matti 152
Savolainen, Juhani 18
Scherrer, Paul 189
Schieck, Jochen 252
Schlatter, Dieter 263, 264, 267, 268, 269
Schmidt, Bernhard 206, 336
Schopper, Herwig 52, 69, *94*, 96, 108, 127, 128, 129, *130*, 131, 132, 134, 138, 139, 159, *164*, 333, 335
Schulman, Tom 166, 183, 191
Schumacher, Markus 313
Schwartz, Melvin 51
Szoncso, Friedrich 179
Seppälä, Esko-Olavi 131, 132

Sharp, Peter	242
Shtsherpakov, Y.	*48*
Shvanev, Victor S.	53, 67, 68
Siivola, Antti	64, 65, 66, *121*, 132, 144, 146, 148, 149, 150, 157, 159
Simons, Lennart	15, 32
Sinkkilä, Pekka	231
Sinkkonen, Jari	151
Sinkkonen, Juha	152
Sipilä, Heikki	269
Sirkeinen, Ulla	135
Sissakian, A.N.	127
Sjöstrand, Torbjörn	184
Skog, Kari	193, 203
Skrinski, Aleksandr	79
Snow, Gregory	254
Soloviev, L.D.	68, 120
Southworth, Brian	*130*
Spartiotis, Costas	157
Specht, Hans	214, 229, 268
Stachel, Johanna	269, 271
Steel, E.W.D.H.	47, *48*
Steinberger, Jack	51, 202
Steiniger, Klaus	*271*
Stenholm, Stig	137, 165, 200, 334
Stepanov, Nikita	223
Still, Dan	260
Street, G.S.P.	41, *42*, 332
Suhonen, Esko	157, 336
Sundell, Erik	36, 43, 47, 123
Suomalainen, J.	166
Suominen, Ilkka	141
Suonio, Kaarina	131, 132
Stenbäck, Per	146
Suulamo, Simo	159
Suvanen, Markku	263
Svedin, U.	36
Säkkinen, Juha	*234*
Sällström, Pehr	17
Särmä, T.	166
Søde-Mogensen, Brigitte	145, *146*
Sørensen, S.O.	34

T

Taipale, Ilkka *263*
Tammi, Kari 193, 194, 195, 203
Tarjanne, Pekka 16, 32, 33, 46, 146, *147*
Talvitie, Pentti 31
Tapprogge, Stefan 232
Tavkhelidze, A.N. 46
Taxell, Christoffer 141, 142, 143
Taylor, Lucas *295*
Taylor, Richard 146
Thingvold, Ö. 36
Tienari, Martti 38, 64, 65, 75, 332
Tihonova, Larissa 52
Tilli, Kari 139, 149, 157
Ting, Samuel C.C. 84, 87, 88, 155, 159, 160, 181, 183
Tirkkonen, Olav 111
Tirri, Tarja 157, 158
Toivola, Yrjö 134
Tommila, Päiviö 144
Tonelli, Guido *295*
Treille, Daniel 166
Trzaska, Wladyslaw 229,
Tuisku, Miikka 268
Tuomikoski, Pentti 35
Tuominen, Eija 195, 221, 229, *235*, *250*, 255, 256, *270*, 271, 317, 324
Tunkelo, Eino 38
Tuononen, Tero 260, *265*
Tuovinen, Esa *220*, 221, 251, 256, 271, 317, 325
Tuuri, Antti 134
Tuuva, Tuure *121*, 122, 123, 166, 167, 168, 177, 179, *181*, 183, 184, 193, 218, 240, 323
Tyndel, Michael 255
Tøfte, Knud 34
Törnqvist, Nils 33, 34

U

Ungaro, Donatella 195, *221*, 222, 324
Uronen, Paavo 234, *235*

V

Vaaraniemi, Tuukka 184
Valtonen, Kari 72, 73

Valtonen, Pertti 135
van der Meer, Simon 80, *94*, 101, 134, 319
Van Hove, Léon 31, 46, 47, 48, *69*, 81, 84, 105, 133
Van Remortel, Nick 232
Vehviläinen, Tapio *62*, 78, 111
Veje, Lene 36
Veneziano , Gabriele 214
Vestala, Leena 263
Vialle, Jean-Pierre 92
Vihko, Raimo 194
Villanen, Heimo 25, *29*, 30, 36, 55, 59, 62
Villanen, Pilvi *29*, 30, 43, 52, 55, 59, 62, 322
Viljanen, Heikki 256, *270*
Virdee, Tejinder 179, 190, *295*, 312, 339
Virjasov, N.M. 54
Virolainen, Johannes 46
Von Brentano, Peter 105
Von Dardel, Guy 78
Voutilainen, Martti 122, 123, 157, 168, 179, 323
Voutilainen, Pertti 134, 135
Voutilainen, Mikko 223, 253, 254, 314, 324
Vuorinen, Anneli *235*
Välimaa, Joni 271
Välinoro, Pirjo *234*
Vänskä, Jussi 111

W
Wagner, Albrecht 214, 229
Waris, Klaus 38
Wartiovaara, Kirsti 136
Weck, Tor-Ulf 165
Weinberg, Steven 47, 68
Weisskopf, Victor 117
Welti, Jan 291, 298, 326
Wendland, Lauri 220, 223, 252, *270*, *271*, *286,* 313, 325
Wendt, Gerhard 134
Wenninger, Horst 202, 210, 212
Wiik, Björn 202
Wiik, Tapani 166
Wiio, Osmo A. 38
Winter, Klaus 48, 93
Wolf, Guenter 232, 337
Wu, Sau Lan 168

Wu, T.T. 52
Wulz, Caudia 177

Y

Yamdagni, Narendra 36
Yarba, Viktor 68
Young, Christopher 315

Z

Zachariasen, Frederic 76
Zaimidaroga, Oleg 54, 58
Zlatev, I. *127*

Ä

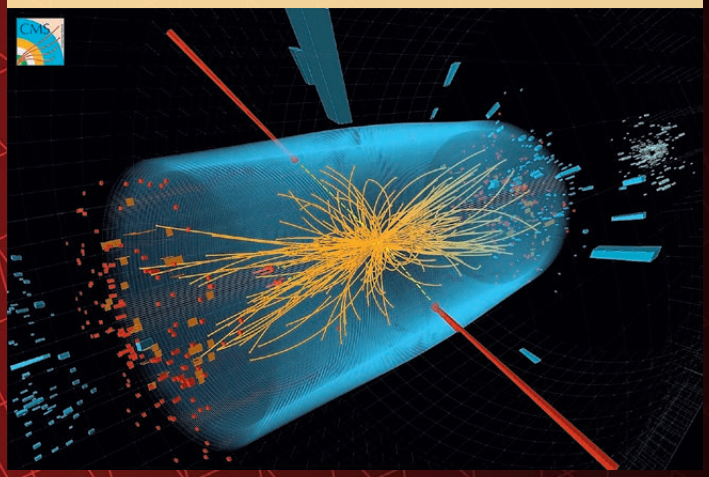
Äystö, Juha 162, 165, 201, 205, 208, 229, 262, 268, 273, 281, 334, 336

Ö

Önengüt, G. *48*
Österberg, Kenneth 123, 168, 169, *172*, 179, 209, 229, 232, 233, 268, 269, 270, 290, 291, 323

Suomessa alkeishiukkasfysiikan kokeellinen tutkimus aloitettiin tyhjästä vuonna 1965.

Tämä kirja dokumentoi suomalaisen kokeellisen tutkimuksen vaiheita aivan alusta aina Higgsin bosonin löytämiseen vuonna 2012 CERNissä. Tänä aikana maailmassa rakennettiin useita mittavia koelaitteistoja aineen perusrakenteen tutkimusta varten. Ne ovat edistäneet merkittävästi käsitystämme aineen mikroskooppisesta rakenteesta. Suomalaiset tutkijat ovat osallistuneet tutkimukseen useilla näistä laitteistoista.



FYSIIKAN
TUTKIMUSLAITOS