

ELEMENTAAROSAKESTE FÜÜSIKA EESTIS: TEOORIAST INFOTEHNOLOOGIANI

Andi Hektor, Kristjan Kannike, Martti Raidal

Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut

MIS ON ELEMENTAAROSAKESTE FÜÜSIKA

Atomism – ideestik, et kõik maailmas koosneb väikestest ehituskividest, aatomitest – on sama vana kui vanimad loomisfilosoofiad. Mõiste “aatom” (kreeka keeles “jagamatu”) tuleneb kreeka sõnast α (“mitte-”) ja “lõikama”. Teadaolevalt õpetas juba filosoof Demokritos (5. sajand eKr), et aatomid on materia väikseimad osad. Tõsi küll, esialgu ei olnud atomismil midagi pistmist loodusteadusega, sest idee tõestamiseks puudus igasugune eksperimentaalne alus. Sestap arvati, et algelemendid on tuli, õhk, vesi ja maa. Uusajal levis atomism ka teadlaste hulgas, mil tuntuimaks osakestefüüsika eeskostjaks oli sir Isaac Newton. Tema vaade, et valgus koosneb osakestest, konkureeris vaatega, et valgus on lainetus. Kvantfüüsika tekkeni, mis ühendas need kaks vaadet, oli vaja teha veel pikk eksperimentaalne samm.

19. sajandil toimus rida läbimurdeid nii keemias kui füüsikas, mis näitasid, et ained tõesti koosnevad aatomitest ja molekulidest. Nende olemus, struktuur, koostis jne ei olnud aga teada. Esimesed teaduslikud eksperimendid, mis viisid kaasaegse osakestefüüsika tekkeni, olid seotud kiirguse avastamisega. 1895. aastal avastas W. Röntgen X-kiired, mis praegu on tema nime all meditsiinis laialt kasutusel. Tegemist on energetiliste footonite – valguse osakestega. Juhuslikult fotoplaadile unustatud uraanitükk viis A. Becquereli avastuseni, et uraan kiirgab α -osakesi – tänapäeva teaduste järgi heeliumi aatomi tuumi. Kuigi radioaktiivsuse füüsikalised alused jäid esialgu arusaamatuks, oli nende avastustega osakestefüüsika tekkinud. Esimene tõeline osakestefüüsika eksperiment katoodkiirte liikumisest elektriväljas, mis tõestas negatiivse elektrilaenguga elementaarosakese –

elektroni – olemasolu, tehti 1897. aastal J. Thomsoni poolt ja oli eriline mitmes mõttes. Esiteks avastati tõeliselt elementaarne osake (ka kaasaja teaduste järgi), millel pole struktuuri. Teiseks oli katoodkiirte toru, millega Thomson elektronid liikuma pani, esimene elementaarosakeste kiirendi.

Elementaarosakesed ongi need väikseimad osakesed, mille sisemise koostise kohta puuduvad andmed, kuid millest koosneb kogu materia. Füüsika areng pärast Thomsoni avastust demonstreeris, et aatomid ei olegi elementaarsed. Seda tõestas E. Rutherford näidates, et aatomitel on tuum, mille ümber tiirlevad elektronid. Aatomite tuumadel on omakorda struktuur, mida uurib tuumafüüsika. Tuumad koosnevad prootonitest (kergeima elemendi vesiniku tuum on üksainus prooton) ja neutraalsetest osakestest – neutronitest.

Aja möödudes ja tehnika arenedes muutusid osakestefüüsika eksperimendid suuremaks ja keerukamaks, võimaldades anda osakeatele suuri energiad. Selgus, et lisaks eelnimetatud stabiilsetele osakeatele on olemas veel neist raskemad, kuid väga lühikese elueaga osakesed. Osa nendest on elektronide, osa aga prootonite sugulased. Viimaste klassifitseerimisega tegeles ka Eesti Teaduste Akadeemia Füüsika Instituudi teadur Jaak Lõhmus. Kuna neid leiti eriti palju, siis jõuti arusaamisele, et need ei saa olla elementaarosakesed, vaid nad koosnevad teistest osakestest – kvarkidest. Kvargid on murdarvulise elektrilaenguga rasked osakesed, mille kombinatsioonid moodustavad eelmainitud massiivsete osakeste paljususe. Protonites, neutronites ja teistes osakestes püsivad kvargid koos tugeva interaktsiooni tõttu, mida kannavad edasi gluonid – valguse sarnased tugeva interaktsiooni osakesed. Kvargid ja gluonid

on praeguste teadmiste kohaselt tõelised, sisemise struktuurita elementaarosakesed.

Elementaarosakeste hulka kuuluvad veel leptonid, elektroni sugulased. Tuumareaktsioonidest, kus energia näiliselt kaduma läks, selgus, et elektronil on "paariline", ülikerge elektrilaenguta osake – neutriino. Neutriinod on osakesed, mida eksperimentis on suudetud näha alles viimastel aastakümnetel. Kuna nad on ainega vaid nõrgas vastasmõjus, oli neid leida üpris raske. Leptonid tunnevad elektromagneetilist ja nõrka vastasmõju, mille kandjateks on vastavalt valguse osakesed fotonid ja raske valguse osakesed W ja Z. Ka need on elementaarosakesed.

Eksperimentide käigus on selgunud, et kvarke ja leptoneid on kolm peaaegu identset põlvkonda, mis erinevad üksteisest vaid masside poolest. Need, koos vastasmõju vahendavate osakestega, ongi elementaarosakesed. Nende vahelisi interaktsioone kirjeldav teadus on elementaarosakeste füüsika.

KAASAEGSE ELEMENTAAROSAKESTE FÜÜSIKA PÕHIPROBLEEMID

Teooriat, kuhu kuuluvad kolm põlvkonda kvarke ja leptoneid ning mis kirjeldab tugevat, nõrka ja elektromagneetilist vastasmõju, nimetatakse osakefüüsika Standardmudeliks. Kvarkidele, leptonitele, ja vastasmõjusid ülekandvatele gluonitele, W- ja Z-osakestele ja fotonile lisaks on selles teoorias veel avastamata osake – "Higgsi boson". Higgsi osake on ainus, mis suudab vastasmõjus olla ka vaakumiga ja seeläbi anda kogu materiale massi. Hetkel on see mehhanism, Higgsi mehhanism, ainus teadaolev viis materiale seisumassi andmiseks. Vastasel juhul koosneks universum ainult valguse kiirusega liikuvate massita osakeste kiirgusest. Higgsi boson on nii massiivne, et siiani teda leitud veel pole. Tema avastamine on üks uue Euroopa Tuumauuringute Keskuse (CERNi) ehitatava kiirendi Large Hadron Collider (LHC) põhiülesandeid.

Kaasaegse osakefüüsika põhieesmärgiks on mõista osakeste masside ja sellega seoses vaakumi

struktuuri olemust ja päritolu. Seda ei saa teha mõistmata elementaarosakeste kvantarvude olemust, samuti osakeste kolme põlvkonna tähendust, mis võimaldavad aine-antiaine sümmeetria rikku mist Standardmudel. Ehkki elementaarosakeste Standardmudel on suutnud siiani kõiki eksperimentaalandmeid edukalt kirjeldada, ei seleta ta eeltoodud fundamentaalseid küsimusi. Pigem on ta nende parametrizeering, mis töötab äärmiselt edukalt, kuid mille fundamentaalsus on tugeva kahtluse all. Miks on osakeste põlvkondi kolm ja mitte kaks või neli? Millega on määratud osakeste massid? Kas elektromagnetilise, nõrga ja tugeva interaktsiooni tugevused saavad väga kõrgele energiale võrdseks ja mis on selle teoreetiline põhjus? Kuidas tekib universumis aine ja antiaine vahel asümmeetria, barüonasümmeetria, mis täidab universumi ainega? Mis on universumi varjatud massi ja varjatud energia allikas? Kuidas lahendada Higgsi osakese massiga seotud hierarhia probleemi? Kõik need küsimused viitavad palju fundamentaalsema teooria olemasolule, mis suudaks neid ka seletada. Uute teooriate kontrollimiseks läheb vaja üha suuremat ja suuremat energiat, mis saavutatakse loodavates kiirendiekperimentides. Värskeid andmeid pakub ka kosmoloogia: varajane Universum oli otsekui tohtu suurte energiatega osakefüüsika laboratoorium.

Esimesed selle uue teooria alused on juba formuleerimisel osakefüüsika teoreetikute poolt ja need põhinevad kogutud eksperimentaalandmetel. Kindlaks märgiks Standardmudelist kaugemale ulatuvast füüsikast on neutriinode massi avastamine. Standardmudel on neutriinod massitud, kuid viimase aja eksperimentides on leitud, et Päikeselt ei jõua Maale nii palju neutriinosid, kui seal termotuumareaktsioonides peaks tekkima. Selgub, et kõigil kolmel neutriinoliigil peab olema erinev mass. Nõrga vastasmõju kaudu muutuvad need üksteiseks, ka nendeks, mida detektorid ei tuvasta ja nii tekibki näiline neutriinode puudujääk. Uue füüsika seisukohalt ei ole oluline mitte ainult neutriinode masside olemasolu, vaid ka nende väiksus, võrreldes teiste elementaarosakestega. See viitab uutele osakestele väga kõrgetel

energiatel, mis olid universumis olemas vahetult peale suurt pauku. Kuna on olemas kolm põlvkonda osakesi, siis on võimalik aine-antiaine vahelise sümmeetria rikkumine, mis võimaldab seletada aine olemasolu universumis läbi mehhanismi, mida kutsutakse leptogeneesiks. See protsess on otseselt seotud neutriinode massidega. Kõikides nendes protsessides osaleb Higgsi osake, mis annab massi kõigile teistele osakestele ja mille avastamine on oluline ka uue füüsika mõistmiseks. Kaasajal pole võimalik vaadelda kosmoloogiat eraldi osakestefüüsikast. Selgub, et Higgsi osakeste sarnased osakesed on ainsad, mis saavad tekitada universumi varjatud energia. Kosmoloogilised eksperimendid on näidanud, et umbes 70% universumi massist on tegelikult energia, mille päritolu ei ole teada. Osakestefüüsika on võimeline seletama selle energia olemasolu. Viimaks on oluline küsimus, mis on varjatud mass, mis moodustab ligi 30% universumi massist (nähtava aine mass on universumi mastaabis täiesti tühine). Praeguste arusaamade juures on varjatud mass supersümmeetrilist päritolu stabiilsete osakeste mass. Need on osakesed, mille avastamine on LHC kiirendi teine tähtis ülesanne. Teisisõnu, LHC kiirendiga on võimalik testida universumi koostist maistes eksperimentides.

Kokkuvõttes on kaasaegse osakestefüüsika ees seisvaks ülesandeks seletada universumi ehitust ja ajalugu ja osakestefüüsika eksperimentide tulemusi kooskõllaliselt ning formuleerida vastavad teooriad matemaatiliselt.

EESTLASED OSAKESTEFÜÜSIKA TEOORIAS JA EKSPERIMENTIDES

Eestis on osakestefüüsika ja kosmoloogia uurinute vallas pikaajalised traditsioonid. Osakestefüüsika eri aspektidega tegeldakse Tartu Ülikoolis (TÜ), TÜ Füüsika Instituudis (FI), Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudis (KBFI) Tallinnas, Tallinna Tehnikaülikoolis (TTÜ) ja ka Tallinna Ülikoolis (TLÜ), kosmoloogiaga tegeldakse põhiliselt Tartu Observatooriumis (TO) Tõraveres. Uurimistöö toimub kõrgel rahvusvahelisel tasemel. Näiteks, universumi varjatud mass avastati

just Tõraveres Jaan Einasto töörühma poolt. FI teaduri Elmar Vesmani poolt seletatud müüon katalüüs pälvis Eesti Vabariigi teaduspreemia. Samuti on Vabariigi teaduspreemia osakestefüüsika teooria eest saanud Jaak Lõhmus, Leo Sorgsepp ja Eugen Paal ning KBFI vanemteadur Martti Raidal. Eesti teadlased teevad tihedat koostööd kolleegidega välismaal. Selle koostöö parimaks näiteks on Eesti Vabariigi ja CERNi vahel sõlmitud rahvusvaheline leping mille alusel toimub Eesti teadlaste koostöö CERNi LHC kiirendi Compact Muon Solenoidi (CMS) eksperimendiga. Tänu sellele lepingule on eksperimentaalne osakestefüüsika ja selle rakendused Eestis tõusnud täiesti uuele tasemele.

Osakestefüüsika kõige matemaatilisemate aspektidega tegelevad Eestis FI teoreetikud Piret Kuusk, Laur Järv ja Margus Saal, kelle uurimisvaldkonnaks on stringiteooria ja selle seostega kosmoloogia. Stringiteooria on üks peamisi teoreetikute lootusi ühendamiseks gravitatsiooni teiste vastasmõjudega. Osakesi kujutavad seal punktide asemel ühemõõtmelised objektid, otsekui pillikeeled (ingl *string*). Gravitatsiooni klassikalisi aspekte üldrelatiivsusteooria raames uurib TÜ ja TLÜ töörühm Romi Mankini ja Risto Tammelo juhtimisel. Kuigi gravitatsioon on praeguse hetkeni veel teiste interaktsioonidega ühendamata, on nende töö vajalik kosmoloogia kui osakestefüüsika labori mõistmiseks.

Hetkel uurivad Eesti füüsikud kõige aktiivsemalt osakestefüüsika fenomenoloogiat, st teevad teoreetilist uurimistööd eksperimentide tulemuste seletamiseks ja ennustamiseks. KBFI osakestefüüsika töörühm uurib Martti Raidali juhendamisel neutriinode masside sõltuvust energiast ja nende segunemist ning nende seotust kosmoloogiaga. Nimelt on teoorias, mis seletab neutriino masside väiksust, sisse toodud uued rasked osakesed, nõndanimetatud steriilsed neutriinod või tripletsed Higgsi osakesed. Nende lagunemine Universumi varasel ajajärgul tõenäolisemalt leptoniteks, mitte antileptoniteks (leptogenees), tekitab tibatillukese vahe aine ja antiaine vahel aine kasuks. Aine ja antiaine annihileerumisel järgijää-

nud ainest koosnevad tähed, planeedid, ja meigi. Nõnda võlgne oma olemasolu neutriinodele. Kuna neutriinode massid on raskete steriilsete neutriinode kaudu seotud energiaskaaladega, kuhu eksperiment ei küüni, võib nende uurimine anda vihjeid uute ühendteooriate loomiseks ja ka stringiteooriaks. Üks tegevusalasid KBFI ongi arvutada, kuidas neutriinode massid sõltuvad energiast, et madalalt energiaskaalalt, mis on eksperimentaalselt kättesaadav, leida neutriinode parameetrid kõrgel energiaskaalal steriilsete neutriinode masside juures.

Selliste protsesside ennustamine ja tulemuste kontrollimine võib anda uusi andmeid, kuidas leptogeneesi toimus. Viimasel ajal loodud uued supersümmeetrilised mudelid, nagu näiteks lõhestatud (*split*) supersümmeetria, avavad neutriinofüüsikale uusi perspektiive. Kosmoloogiast läbi leptogeneesi saadud andmete kaudu on võimalik ennustada mõnede supersümmeetriliste osakeste masse, mis jäävad LHCLe kättesaadava energia piiridesse. Neutriinofüüsikaga tegeleb FIIs ka Laur Palgi, kelle huvialaks on olnud neutriinode massid ja segunemine. Lisaks sellele on osakeste spinnidega seotud teematikat uurinud Ilmar Otsa rühm FIIs ja Rein Karl Loide töörühm TTÜs.

Kõige värskemaks teemaks Eesti osakestefüüsikas on LHC kiirendi CMSi eksperimendi andmete analüüs, mida tehakse KBFI osakestefüüsika töörühmas Martti Raidali ja Endel Lippmaa eestvedamisel. Tänu Eesti Vabariigi ja CERNi vahel sõlmitud lepingule on Eesti teadlastel esmakordselt võimalik osaleda sisuliselt uue mateeriavormi – Higgsi bosoni – avastamisel. KBFI rühma temaatika on otsida tripletset Higgsi bosonit, seda osakest, mis võib indutseerida ka leptogeneesi ja neutriinode massid. Seega on töörühma eesmärk ambitsioonikas: seletada kiirendifüüsika tulemustega nii aine olemasolu universumis kui ka uut füüsikat väga kõrgetel energiatel. Kuna tegemist on eksperimentaalse uurimistööga, mis on seotud väga suurte ja kallite aparatuuride ehitamisega rahvusvahelises koostöös, siis on see tegevus toonud Eestisse ka teadmisi ja tehnoloogiaid, mida sageli elementaarosakestega ei seostata.

ELEMENTAAROSAKESED JA TEHNOLOOGIA

Elementaarosakeste füüsika tegeleb Universumi kirjeldamise väga fundamentaalsete aspektidega ja esmapilgul tundub see seisvat väga kaugel kõigist mõeldavatest kasulikest rakendustest. Tõepoolest, kui rääkida osakestefüüsika kõrge energia eksperimentidest, kus energiat mõõdetakse juba teraelektronvoltides, on otseselt kasulikke rakendusi veel väga vähe. Kindlasti on üheks põhjuseks ka see, et nii kõrgete energiatega manipuleerimine on meile veel väga uudne ja harjumatu. Inimene, kui bioloogiline objekt, elab oma loomuliku elu keemilise energia skaalal ühe elektronvoldi piires, ehk triljon korda madalamal energial kui tänapäevased kiirendid.

Siiski, ka selliste energiatega juures on olemas mõeldavaid kasulikke rakendusi. Ühe näitena võib tuua nn vaba elektronlaseri loomise tuleviku lineaarsete elektronkiirendite juurde. Selle poolt tekitatav ülivõimas ja puhas kiirus parandaks oluliselt võimalusi tundma õppida meid ümbritsevate keemiliste ühendite olemust.

Tulles energiaskaalal kolm suurusjärku allapoole, gigaelektronvoldiste energiatega skaalasse, leiame juba oluliselt rohkem perspektiivikaid rakendusi. Näiteks, vähiravis on kuumaks teemaks hadronteraapia ja kõrge energiaga elektronide teraapia. See on meetod, kus kõrge energiaga prootonite või elektronidega “pommitatakse” vähikollet. Sellise osakestekimbu energiat saab tunduvalt paremini koondada ühte hästilokaliseeritud piirkonda, antud juhul vähikoldesse. Nii saaks oluliselt vähendada vähikollet ümbritsevate kudede kahjustamist võrreldes traditsiooniliste kiiritusraviga.

Gigaelektronvoldises skaalas töötavad ka nn kõrge energiaga neutronite allikad. Need on seadmed, kus kiirendis toodetud energetiliste prootonitega pommitatakse spetsiaalseid märklaudu, mis omakorda vallandab energetiliste neutronite kaskaadi. Neid seadmeid vajatakse nii materjaliteaduse uuringuteks kui ka materjalide kiirgustaluvuse uurimiseks. Materjalide kiirgustaluvus on väga kriitiline küsimus uue põlvkonna kiirete neutronite

tuumareaktorites ja veel kriitilisem planeeritavate termotuumareaktorite juures. Ka saaks selliseid neutronite allikaid kasutada nn passiivreaktorite loomisel, kus kalli rikastatud uraani asemel kasutatakse tunduvalt odavamalt rikastamata tooriumi. Siiski, viimane tehnolooga nõuaks senistest oluliselt efektiivsemaid neutronite tootmise süsteeme.

Kõik eelnevad tehnoloogiad ja rakendused nõuavad osakestefüüsika enda väga täpset tundmist. Seega võib neid lugeda otseselt osakestefüüsikaga seotuks. Huvitav on aga see, et osakestefüüsikud on oma põhitöö kõrvalt loonud terve laviini huvitavaid ja tänapäeval juba lausa igapäevaseid IT-rakendusi. Vast enamikele inimestele tuntud rakendus on WWW, mis loodi osakestefüüsikute poolt 1990ndate aastate alguses ühes osakestefüüsika tiiplaboris CERNis. Algselt levitati seda kui üksnes teadlastele suunatud spetsiifilist tarkvara. Veel on osakestefüüsikud andnud oma panuse tänapäevaste hajasandmebaaside ja muu internetipõhise tehnoloogia loomisse. Need rakendused pole ehk tavainimesele nii nähtavad, tänapäevast pangandussüsteemi ei kujutaks aga vist ükski selle ala spetsialist ette ilma hajasandmebaasideta.

Tekib loomulik küsimus, miks paljud uued ja huvitavad rakendused just osakestefüüsika juures tekivad. Sellel on kaks olulist põhjust. Esimene põhjus seisneb selles, et osakestefüüsika eksperimendid on väga kallid ja suured ning need on koondunud suurtesse, tuhandeid teadlasi ja inseneri koondavatesse laboritesse. Näiteks maailma suurimas osakestefüüsika laboris CERNis Genfi lähedal töötab ligi viis tuhat teadlast ja inseneri. Ligikaudu sama arv teadlasi töötab CERNi heaks mitte kohapeal Genfis, vaid mujal maailmas. Oma väikese panuse annavad nii ka seitse Eesti füüsikut KBFIs Tallinnas. Paljude teadlaste ja inseneride koos töötamisel tekib paratamatult palju uusi ideid, jagatakse kogemusi ja toodetakse sünergiat.

Lisaks sünergeetilistele ja kõrgel tasemel tiiplaboritele on veel üks väga otsene põhjus uute rakenduste loomiseks – nimelt nõuavad osakestefüüsika eksperimendiseadmed tiipitasemel riist- ja tarkvara, elektroonikat ja insenerimõtlemit. Nende

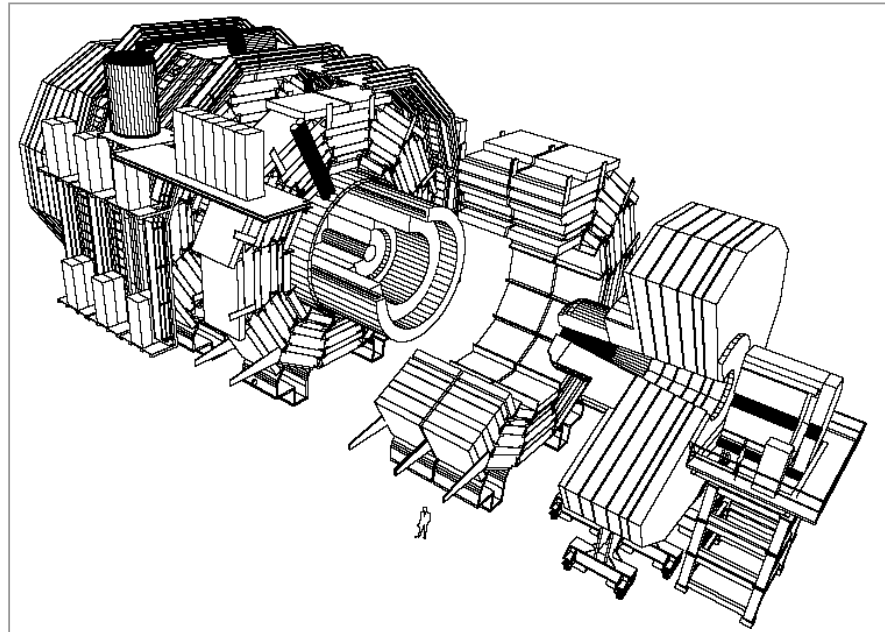
seadmete jaoks tuleb tihti luua komponente, mis on unikaalsed ja paremate parameetritega kui võimalikud saadaolevad seadmed. Nii on nende seadmete väljatöötamine suur väljakutse paljudele elektroonikavaldkondadele. Paljud suurfirmad on taibanud, et see on suurepärane võimalus testida reaalses oludes oma tulevikutehnikat. Näiteks on CERNi juurde oma tiiplaborid rajanud sellised firmad nagu CISCO, IBM, HP, Oracle jpt.

Et anda ettekujutust antud ülesannete mastaapsusest, võib kirjeldada ühte uut osakestefüüsika eksperimenti. CERNi keskuses alustab 2007. aastal tööd uus suur kiirendi nimega Large Hadron Collider (LHC). Sellel paikneb mitu võimsat detektorit, üks nendest on detektor Compact Muon Solenoid (CMS) (joonis 1), mille juures osalevad ka Eesti füüsikud. Mastaapsust iseloomustab see, et LHC otsene maksumus on 4 miljardit eurot ja kaudne maksumus veel teist samapalju. Huvi pakub fakt, et näiteks CMS detektor hakkab väljastama 20 korda rohkem infot kui kõik maailma praegusaegsed telejaamad kokku. Sellest infost selekteeritakse spetsiaalelektronikaga välja üks murdoosa, mis on siiski ligi 2–3 petabaiti (2000–3000 Terabaiti) aastas. Sellest infost tuleb teadlastel välja otsida neid huvitav osa, mis tihti on vaid mõne kilobaidi suurune. On selge, et mainitud esmast infotöötlust ei saa teha traditsioonilise elektroonikaga ja järelinfotöötlust traditsioonilise tarkvaraga. Kuna teadlased paiknevad laiali mööda maailma, siis tuleb seda analüüsi teha ka veel hajusalt. See nõuab uudset infotehnoloogilist lähenemist ja see on nimeks saanud Grid (ingl *grid* – võre).

Grid on globaalselt hajus (joonis 2) infotehnoloogiline süsteem ja mõneti võib seda pidada WWW edasiarenduseks. Kui WWW eesmärk oli jagada inimloetaval moel andmeressursse, siis Gridi eesmärk on jagada kõiki infotehnoloogilisi ressursse (andmed, arvutusvõimsus, andmebaasid ja -hoidlad, spetsiaalseadmete ressursid jne), ja seda läbi paistval moel ning suuresti automatiseeritult. Mõneti võib ette kujutada, et Grid muudab kogu internetis paikneva ja Gridi ühendatud arvutuses-

Joonis 1.

Pildil on kujutatud 2007. a CERNs Genfis valmiv Compact Muon Solenoid (CMS) detektor. See on pea 12 m diameetri ja 30 m pikkusega 10 000 t ras-kune seade. Suure osa seadme sisemusest moodustavad kallid pikselde-tekto rid, kalorimeetrid ja spetsiaalelektoonika. Antud detektor luuakse rahvusvahelises koostöös, milles osalevad ametliku partnerina ka Eesti füüsi-kud.



Joonis 2.

Eesti Grid on Põhja-maade Gridi, NorduGrid, osa. NorduGridi on ühendatud ligi 5000 protses-sorit ligi 40s arvutus- või teaduskeskuses ja 60 TB andmehoidlaid.



