

Onko olemassa kaiken teoriaa ja jos on, voiko maallikko sen ymmärtää?

Keijo Kajantie

Kaiken teorialla tarkoitetaan teoriaa, jolla ainakin periaatteessa voidaan ymmärtää kaikki ympärillämme näkyvä luonnontieteellinen todellisuus. Siis jonkinlainen perimmäinen yhdistetty teoria.

Ensin täytyy inventoida se luonnontieteellinen todellisuus, jota halutaan ymmärtää. Tarvitaan paljon määrällistä keskeistä tietoa, mutta vielä enemmän spekulatioita, laadullisesti uusia ajatuksia. Käsiteltävät asiat ovat myös taatusti hyödyttömiä, ne ovat mahdollisimman kaukana arkiympäristöstämme. Ne eivät siis ole nykyään niin suosittua nanotiedettä, vaan itse asiassa nanonanonanotiedettä, käsittelevät luontoa mahdollisimman pienillä – ja myös mahdollisimman suurilla etäisyyksillä.

Haluaisin myös vähän kommentoida tällaisen luonnontieteellisen maailmankuvan ymmärtämistä. Taustalla on ainakin kolmen hengen kommentit, jo vuosien takaa, kun he olivat lukeneet Stephen Hawkingin kirjan "Ajan lyhyt historia": oli hieno kirja mutten mitään ymmärtänyt siitä. Olettaisiin, että ymmärtämiseltä odotetaan tässä aivan liikaa, tietyt perustiedot omaavan maallikonkin pitäisi pystyä asia itseä tyydyttävällä tavalla ymmärtämään.

Haluamme siis katsoa maailmaamme kokonaisuutena ja tähän on ollut tutkimuksen ja ajatuksen kohde jo antiikin ajoista. Oleellinen laadullinen

ero vaan on siinä, että nyt meillä on täsmällinen määrällinen kuva maailmastamme.

Ympärillämme oleva maailmankaikkeus onkin viimeisen kymmenen vuoden kuluessa tarkkaan mitattu ja sen oliot luokiteltu:

- Suurilla etäisyyksillä kosmologisesti tunnetaan koko, ikä (13.7 Ga), uusin historia ja aine/energia-sisältö. On keskeistä todellakin tiedostaa, että maailmankaikkeutta katsellaan kokonaisuutena, mutta tietysti vain sen sisältä käsin. Maapalloa voidaan kokonaisuutena katsoa ulkoa päin (ikä 4.55 Ga).
- Oliot ovat pohjimmiltaan kolme leptonia (yksi näistä on elektroni), kolme neutriinoa, kuusi kvarkkia. Kaikki nämä ovat pistemäisiä, mitään kokoa niille ei ole pystytty mittaamaan. Ytimillä on koko ja ne eivät olekaan perushiukkasia vaan koostuvat kvarkeista.
- Olioiden vuorovaikutukset tunnetaan (tyyppiä sähkömagnetismi, kantaja fotoni tai painovoima, kantaja gravitoni, jota vielä ei ole havaittu hiukkasena).

Kaiken kaikkiaan, kvantitatiivisesti tämä maailmankuva voidaan pelkistää 37:ään kappaleeseen mitattuja perusparametrejä. Esimerkiksi, elektronilla on tietty massa, miksi sillä on juuri tämä arvo? Nykyisen maailman olemassaolo myös riippuu hyvin herkästi näiden parametrien arvoista, pieni-

kin muutos tekisi nyky maailman olemassaolon mahdolliseksi. Entä mitä on pimeä aine, jonka vaikutukset galaksien liikkeeseen nähdään, mutta jota muuten ei millään mittauksilla ole nähty. On selvää että tämä tilanne suorastaan HUUTAA selitystä: miksi näin? Missä on kaiken teoria?

Uskallan tällä kohtaa arvata, että kohtuullisella yleissivistyksellä varustettu maallikkokin ymmärtää tämän luonnontieteellisen ongelman. Miksi? Ongelmahan on oikeastaan se mihin uskontokin etsii vastausta, mistä maailma on luotu. Nyt siis vaan etsitään luonnontieteellisen paradigman mukaista vastausta, jotain kontrolloitua ylemmän tason teoriaa, ehkä jopa "Kaiken teoriaa".

Voisin myös ehdottaa kaiken teoria etsimistä Tiedekatemian puheenjohtajan edellisessä esitelmässä ehdottamaksi PBP-hankkeeksi: tulokset varmasti muuttaisivat käsitystämme ihmisille relevanteista asioista eikä tuloksista todellakaan ole varmuutta.

Konkreettisuuden vuoksi on ehkä hyvä luetella nuo maailmankaikkeutemme maagiset 26 pienen skaalan ja (noin) 11 suuren skaalan kosmologista parametria:

- Vuorovaikutusten voimakkuudet: heikon, sähkömagneettisen ja vahvan kytkentävakiot.
- Vuorovaikutuskvanttien massat: välibosonien massat ja kovasti etsityn Higgsin hiukkasen massa.
- Massa jokaiselle ainekvantille: kolmen neutriinolajin massat, kolmen leptonin (eli elektronin, myöskin ja taun) massat, kuuden kvarkin (u, d, s, c, b, t) massat. On huomattavaa, että suurimman (top-kvarkki) ja pienimmän (joku neutriinoista) massasuhde on aivan jättiläismäinen, 10¹⁴. Sama suhde saadaan kun verrataan millimetriä maan ja auringon väliseen etäisyyteen! Tällöinenkin yksittäinen luku pitäisi saada seurauksena kaiken teoriasta.
- Kvarkit voivat muuntua toisikseen: 4 parametria (Sattui niin, että juuri ennen esitelmää puolet fysiikan Nobel-palkinnosta 2008 myönnettiin näiden esittämisestä).

- Neutriinot voivat muuntua toisikseen: 4 parametria.
- Vahvojen vuorovaikutusten aikainvarianssin rikkoparametri.
- Kosmologia: pimeän energian määrä, pimeän aineen määrä, tavallisen aineen määrä, fotonien määrä, neutriinonien määrä ja joukko poikkeamia homogeenisuudesta kuvaavia lukuja: 11 parametria

Kommentoin näistä vain kahta: Higgsin massa on se kohta josta aukeaa tie suureen tuntemattomuuteen ja jota juuri toimintansa aloittava CERNin Large Hadron Collider LHC pyrkii kartoittamaan. Onko tätä hiukkasta todella olemassa? Jos ei niin mitä sitten? Tässä näkyy empiirisen luonnontieteen paradigma puhtaimmillaan: vain kokeelliset mittaukset voivat sanoa lopullisen sanan. Pimeä aine taas on havaittu epäsuorasti galaksien pyörimisliikkeestä. Jotain tuntematonta ainetta varmasti on olemassa, ja vieläpä paljon. Tällä on massaa ja siis painovoimavaikutuksia, mutta muuten se vaikuttaa niin heikosti että sitä ei suoranaisesti vielä ole havaittu. Mutta kovasti sitä etsitään!

Minulle jotain vaikuttavaa on siinä, että top-kvarkkeja on tällä hetkellä koko valtavassa universumissa vain maapallon laitteissa (sekä ehkä kosmisten säteiden törmäyksissä), ellei samanlaisia laitteita ole muuallakin muiden galaksien olioiden tekemänä. Näitä raskaita kvarkkeja ei siis ole joka hetki olemassa, ne ovat piiloutuneina tyhjiöön, vakuumiin, ja täytyy kaivaa sieltä esille.

Yllä esitetyt 37 perusvakiota ovat oleellisesti dimensiottomia lukuja, siis esimerkiksi massojen absoluuttiarvojen sijasta tärkeämpiä ovat niiden suhteet. Näiden lisäksi on kolme luonnon perusvakiota, joiden suuruudet riippuvat valitsemistamme massan, etäisyyden ja ajan yksiköistä. Nämä ovat, ihmisläheisissä SI-yksiköissä,

Valon nopeus, "maailman suurin nopeus", $c=300000 \text{ km/s}$, johon liittyy suppeampi suhteellisuusteoria.

Planckin vaikutuskvantti, "maailman pienin pyörimismäärä", $h=10^{-35} \text{ kg m}^2/\text{s}$, johon liittyy kvanttimekaniikka.

Painovoimavakio G , muodossa "maailman pienin etäisyys", $(hG/c)^{1/2} = 10^{-35}$ m, johon liittyy yleinen suhteellisuusteoria.

Tässä kohtaa on taas hyvä keskustella ymmärtämisestä, kalibroida ymmärtämisasteikko. Onko edellä esitetty ymmärrettävää, siinähan ei ollut muuta kuin joitakin suureita ja niiden numeroarvoja? Maallikko mielestäni "ymmärtääkin" jos

- omaa luku-lukutaitoa, hallitsee kymmenen potenssit. Esimerkkinä voisi ottaa etäisyydet alkaen pienimmästä etäisyydestä $= 10^{-35}$ m aina suurimpaan, joka on maailmankaikkeuden koko, noin $10G$ valovuotta $= 10^{26}$ m. Ajoista puheen ollen tärkeitä lukuja ovat Univesumin ikä 13.7 Ga ja maapallon ikä vain 4.55 Ga. Ja energioiden osalta on tosiasia, että pienin klassillisen mustan aukon massa on noin $(hc/G)^{1/2}$, joka vastaa 10^{19} protonia. LHC:n energialla voi tuottaa vain 10^3 protonin massaisia hituja ja näyttää ilmeiseltä, että on sikavarmaa ettei synny mustia aukkoja, puuttuu 16 kertalukua energiaa! Kuitenkin lehdistössä hälistiin paljon vaarallisten mustien aukkojen synnystä.
- mieltää esittämäni maailman kokonaiskuvan laadullisella tasolla - tekniset yksityiskohdat kuuluvat ammattilaisille. On kuitenkin tiedotettava, että arkipäivän intuitiomme ei aina päde. Esimerkiksi suppean suhteellisuusteorian sydän on se tosiasia, että valon nopeus c on kerta kaikkiaan suurin mahdollinen nopeus. Kvanttimekaniikan sydän taas on se tosiasia, että hiukkasen paikkaa ja liikemäärää ei voi samanaikaisesti määrätä mielivaltaisella tarkkuudella, näiden epämääräisyyksien tulo on suurempi kuin Planckin vakio h .

Ennen kuin ryhdymme luonnehtimaan uusia teorioita, on muistettava, että yksi aivan keskeinen kysymys jää syrjään: elämän ja tajunnan synty. Maailmankaikkeus on ollut olemassa 13.7 Ga, joskus 4.55 Ga sitten sinne tiivistyi maapallo ja aikanaan tällainen syntyi olioita, jotka miettivät mistä kaikki on saanut alkunsa.

Näiden teorioiden kannalta elämä ja tajunta ovat (heikosti) emergenttejä ilmiöitä.

Ongelma on muotoiltu, miten edetään? Tietysti kuten aina empiirisessä luonnontieteessä, katsotaan kokeellisia tuloksia, ajatellaan, ehdotetaan uusia kokeita ja tehdään niitä. Kunnianhimoisena päämääränä voisi olla "kaiken teoria". Näitä on (ainakin) kahta lajia:

1. Kaiken teoria: Ymmärrä kaikki nykyisen horisontin sisällä oleva, siis mainitut n. 50 standardimallin ja big bang-maailmankaikkeuden parametria. Ilmeinen minimivaatimus on kvanttigravitaatio, siis Einsteinin painovoimateorian yhdistäminen kvanttimekaniikkaan. Huomaa, että puhutaan vakavissaan 10^{-35} m:n kokoisesta univesumista, josta koko maailmankaikkeus olisi lähtöisin! Jos tämä tuntuu vaikealta uskoa voi muistaa, että big bang -skenaario on kokeellisesti varmennettu siihen asti kun maailmankaikkeus oli noin yhden valosekunnin eli $300\,000$ km:n kokoinen. Nykyistä maailmaa on tässä supistettu 18 kertaluvulla. Planckin skaalaan 10^{-35} m on vielä 43 kertalukua, joten paljon voi matkalla sinne vielä tapahtua.

2. Kaiken kaiken teoria: Ymmärrä mitä muita maailmankaikkeuksia - joihin meillä ei koskaan voi olla mitään empiiristä kontaktia - voi olla. Meidän maailmankaikkeutemme olisi siis vain yksi monista. Muissa voi olla muita parametrien arvoja (vaikkapa elektronin massalla joku muu arvo) tai jopa eri luonnonlakeja. Tässä siis laajennetaan ratkaisevasti empiirisen luonnontieteen paradigmaa. On kuitenkin huomattava, että kvanttigravitaatioissa on itse asiassa omituista jos on vain yksi maailmankaikkeus, kvanttimekaniikkaan kuuluu luonnostaan flukтуаatiot ja todennäköisyydet. Tässä mielessä on aivan luonnollista, että parallelleja maailmankaikkeuksia on olemassa.

Onko sitten olemassa konkreettista ehdotusta tällaiseksi kaiken teoriaksi? Fyysikot ovat toki olleet aktiiveja, kaiken teorian etsintään on omistettu luokkaa 50000 tutkijatyövuotta ja joukossa on ollut 10...100 Einsteinin kyvyillä varustettua tutkijaa, ihan demografisesti arvioiden. Selvästi pisim-

mällä oleva kandidaatti on säieteoria. Se yhdistää standardimallin ja gravitaation, mutta on kyllä vielä aivan keskeneräinen,

- ei formulaatiota josta voisi laskea ainoatakaan kokeellista ennustetta

- edellyttää että luonnossa on

- supersymmetria (tarkoittaa sitä, että esimerkiksi elektronilla olisi fotonin kaltainen partneri; tällaisesta ei ole mitään merkkiä eli tämä symmetria, jos sitä yleensä on olemassa, on täysin rikottu. Tällaisesta symmetrian rikon käsitteestä, teoriassa on symmetria, mutta sen luonnossa toteutuneissa ratkaisuihin ei symmetriä näy, annettiin juuri puolet vuoden 2008 fysiikan Nobelistia).

- ekstra dimensioita (itse asiassa 6 lisädimensioita ajan ja kolmen paikan lisäksi)

- erityisen tekninen ja matemaattinen – ei ainaakaan maallikolle ymmärrettävä

- ennustaa puoliuskottavasti, että on suuri määrä maailmankaikkeuksia, ehkäpä 10^{500} erilaista – yksi teoria, monta ratkaisua

Kaiken teorian etsintää on hidastanut erityisesti se, että uutta kokeellista tietoa on niin tavattoman vaikea saada. Voi olla hyvä idea, joka on varmasti oikea, mutta jota vaan ei osata empiirisillä mittauksilla todentaa. Tällainen on Hawkingin 1972 ennustama mustan aukon säteily -- ei mitään havaintoa vielä. Kukaan ei epäile Hawkingin tulosta, mutta empiirisessä tieteessä ei mikään muu kuin kokeellisesti havaittu ole varmaa. Uusien epävarmojen

spekulatiivisten ideoiden testaaminen on vieläkin hankalampaa. Kokeiden aikajänne on pitkä. CERNin LHC:n suunnittelu alkoi n. 1990 ja mittaustuloksia alkaa tulla vasta 20 vuoden päästä. Todellinen ongelma myös nuorten tieteenharjoittajien urakehityksen kannalta! Ja kun LHC toimii, auttaa se energiaskaalalla tekijän 10 verran, mutta päämäärä on kaukana, tekijän 10^{17} päässä. Näin kauas ei koskaan päästäkään.

Fysiikka on siis merkittävässä käännekohdassa: on suuri määrä mitattua tietoa maailmankaikkeudesta kokonaisuudessaan, mutta tämän takana olevat luonnonlait ovat täysi mysteeri. Jossain suuri seuraava käsitteellinen edistysaskel kuitenkin piileskelee ja odottaa löytäjänsä!

Lopputeesini olisivat seuraavat:

Lopullista teoriaa ei voi olla olemassa, tiedon rajat aina pakenevat.

Kaiken teoria – merkityksessä mainittujen n. 50 parametrin arvojen johtaminen – on mahdollinen.

Kaiken teoriaa on kauan etsitty järkeilemällä, mutta siihen ei päästä ilman uutta kokeellista tietoa. Tähän taas tarvitaan joko paljon lisäenergiaa tai sitten hyvin herkkiä mittalaitteita, jotka esimerkiksi viimeinkin havaitsevat pimeän aineen.

Energian lisäys tekijällä 10 auttaa paljon, ja onkohan koskaan odotettu minkään mittalaitteen valmistumista yhtä paljon kuin CERNin LHC:tä.

Jos Kaiken teoria on olemassa, voi maallikko sen ymmärtää – ei se muuten kelpaisi kaiken teoriaksi.