

Luonnonlain luonne

Juhlaesitelmä* 6.11.2012 klo 13:15 Physicum E204

Arto Annala

1 Johdanto

Hyvät kollegat, tervetuloa kuuntelemaan esitelmääni luonnonlain luonteesta. Merkkipäivääni liittyen ajattelin tehdä jonkinlaista tilinpäätöstä, en toki saavutuksistani, sillä ei niistä paljoa kerrottavaa olisikaan, vaan enemmänkin siitä, mitä olen viime vuosina oppinut. Olen kovasti kiitollinen, että saan tehdä työtä, johon oppiminen ja tutkiminen luontevasti kuuluvat, vieläpä oppiaineen parissa, joka koskettelee luonnon peruseräitä. Ne ovat kaikessa yksinkertaisuudessaan olennaisia ja kaikenkattavuudessaan myös nykyfysiikan ongelmia valaisevia.

Peruseräät eivät kuitenkaan minua juuri aiemmin askarruttaneet ennen kuin päätin hakea biofysiikan professoria runsaat kymmenen vuotta sitten. Tuolloin tulin kysyneeksi itseltäni, mikä oikeastaan on biologian ja fysiikan olennainen ero. Muistan myös erityisesti ihmetelleeni, eikö biologian keskeisintä teoriaa, luonnonvalintaan perustuvaa kehitysoppia, todellakaan ole kirjoitettu fysiikan teoriana. Onhan fysiikka varsin teoreettinen oppiaine, joka pyrkii selittämään kaiken – ja toisinaan minusta kyllä tuntuu, että vielä vähän enemmänkin. Tuolloin taannoin siis otaksuin, että jos tällainen tieteenalat ylittävä ymmärrys olisi jo olemassa, niin kyllä kai minäkin olisin siitä jo jotakin kuullut. Siispä arvelin, että minun on syytä edes hieman perehtyä fysiikan historiaan ymmärtääkseni niitä vaikeuksia, joita kaikei aikoinaan on kohdattu kaikenkattavaa luonnonlakia tavoiteltaessa.

2 Variaatioperiaate

Elämälle on luonteenomaista sen vääjäämätön, peruuttamaton kulku. Niinpä niin, tässä sitä nyt ollaan kun omalle ikääntymisellekään ei nähtävästi oikein voi mitään. Vääjäämättömyys eli irreversibiliteetti viittaa siihen, että luonnon tapahtumainkuluilla olisi jotakin tekemistä termodynamiikan toisen pääsäännön kanssa, jota myös kasvavan entropian periaateksi kutsutaan. Päätin palauttaa mieleeni termodynamiikan perusteet opiskeluaikojilta tutuksi tulleesta oppikirjasta [*Fundamental University Physics*]. Heti kyllä huomaten, että termodynamiikka monine yhtälöineen tuntui edelleen yhtä luotaantyöntävältä kuin jo opiskeluaikoinakin. Ilokseni mieleeni kuitenkin myös muistui, että termodynamiikka, ainakin periaatteessa, perustuu tilastolliseen mekaniikkaan. Tuo Ludwig Boltzmannin jo reippaasti yli sata vuotta sitten kirjoittama teoria on puolestaan vain yksinkertaista todennäköisyyslaskentaa.

Boltzmannilla oli hieno idea: *maailma kulkee kohti todennäköisintä tilaa*. Aivan uusi ajatus ei kuitenkaan ollut. Jo pari sataa vuotta aiemmin, siis 1600-luvun loppupuolella, Gottfried Leibniz oli tokaisut, että *kaikista mahdollisista maailmoista se, jossa elämme, on todennäköisin*. Näillä kahdella toteamuksella on vähäinen mutta sittenkin vissi vivahde-ero. Boltzmann näyttää olleen kiinnostunut juuri

siitä kaikkein todennäköisimmästä tilasta, ja määrittikin sen yhtälön matemaattisesti edellyttäen, että tuolloin järjestelmän energia ja hiukkaset säilyvät. Tuo tasapainotilan yhtälö löytyy tästä kuten monista muistakin perusoppikirjoista. Leibniz sen sijaan näyttää olleen kiinnostunut enemmänkin siitä, kuinka luonto varioi kulkuaan ja luonnollisesti valitsee kulloinkin tarjolla olevista vaihtoehdoista todennäköisimmän kehityskulun. Leibnizin kirjoituksissa esiintyvät siis nuo Charles Darwinin evoluutioteorian tutut, keskeiset käsitteet: vaihtelu ja luonnonvalinta.

Emme kuitenkaan tarkasti tiedä, mitä Leibniz tarkoitti, sillä häneltä ei ole jäänyt jälkeen toteamustaan vastaavaa liikeyhtälöä. Sikäli kun sellainen ylipäättensä on ollut olemassa, niin kaikei se muistutti sitä, jonka Pierre-Louis Moreau de Maupertuis toi julki vuonna 1744. Tuo pienimmän vaikutuksen lakina tunnettu periaate on yleistys Pierre de Fermat'n 1600-luvun puolivälissä tunnetuksi tekemästä periaatteesta, jonka mukaan valo valitsee aina nopeimman reitin. Maupertuis siis sanoi, että mikä tahansa muukin energiavirta luonnollisesti valitsee nopeimman reitin tasottaessaan energiaeroja, siis kuluttaen vapaata energiaa järjestelmän kehittyessä tilasta toiseen kohti tasapainoa ympäristönsä kanssa mahdollisimman nopeasti.

Maupertuis koki periaatteen kaikenkattavana. Hän selitti sen avulla, ei yksin fysiikan ilmiöitä vaan myös paljon biologiaa, talouselämän lainalaisuuksia ja jopa yhteiskunnallisia prosesseja. Tunnelma kuitenkin muuttui, kun Samuel König, sveitsiläinen pankkiiri, matemaatikko ja Preussin tiedeakatemian jäsen toi julki Leibnizin variaatioperiaatetta koskevan kirjeen. König siis antoi ymmärtää, että Leibniz oli esittänyt Maupertuis'ta ennen ja vieläpä yleisemmän teorian, joka kattaa, ei vain vaikutuksen minimoinnin, vaan myös sen maksimoinnin. Kaikei Maupertuis oli yllätynyt Königin väitteistä, sillä hän mm. epäili kirjeen aitoutta. Kyseessä kyllä oli Leibnizin kirjeen kopio, mutta moni ei oikein ymmärtänyt Maupertuis'n vaikuttimia, vaan pikemminkin vain näytti siltä kuin Maupertuis'lle, mahtavan Preussin tiedeakatemian johtajalle ei oikein mikään kunnia näyttäisi riittävän.

Kaikesta huolimatta Leonhard Euler asettui puolustamaan Maupertuis'ta moittien Königiä säilymislain pilkkamisesta, kun tämä puhui vaikutuksen maksimoinnista. Tällä Euler tarkoitti sitä, että kun järjestelmä kehittyä tilasta toiseen, liike-energian muutos rahoitetaan täsmälleen potentiaalienergian muutoksella ja dissipaatiolla eli energian viralla järjestelmästä ympäristöön tai päinvastoin. Vaikutuksen maksimointi ei voi tulla kyseeseen, koska silloin liike-energian muutos tulisi rahoittaa vielä jollakin tuntemattomalla, tummanhämärällä energiamuodolla.

Näin nähtynä kiista ei niinkään koskenut sitä kenen idea oli vaan sitä mikä idea oli. Näkemystä puoltaa myös se, että Maupertuis itsekin oli todennut, että pienimmän vaikutuksen laki käsittää Isaac Newtonin kirjoittamat liikelait. Seikka, josta voimme tässä saman tien itsekin varmistua kertomalla Newtonin voiman määritelmä $\mathbf{F} = d_t \mathbf{p}$ nopeudella \mathbf{v} , ja sitten tunnistamalla liikeyhtälön $d_t(m\mathbf{v}) = -\mathbf{v} \cdot \nabla U + v^2 d_t m$ yhtäsuuruusmerkin vasemmalta puolelta liike-energian eli

vis vivan mv^2 muutoksen, kuten Leibniz termin tunti, ja oikealta ensimmäiseksi kiihtyvyyteen a liittyvän suunnatun potentiaalienergian gradientin $-\mathbf{v} \cdot \nabla U$ eli *vis mortuan* muutoksen ja toiseksi jokaiseen tilamuutokseen erottomasti liittyvän massan muutoksen, Albert Einsteinin kuuluisaksi tekemän relaation $dm = dE/c^2$ avulla, energian virraksi eli dissipaatioksi järjestelmästä ympäristöön tai päinvastoin.

Nämä energian käsitteet Maupertuis saattoi hyvinkin omaksua Émilie du Châtelet'ta, joka tunnetaan parhaiten Newtonin *Principian* ranskantajana, mutta hänen ansionsa ovat suuremmat. Kirjassaan *Institutions de Physique* Châtelet tutkii mm., mitä oikeastaan tapahtuu, kun kaksi hevostäätä törmää tiellä toisiinsa. Ja [hän] päättää aivan oikein, että ainakin osa liike-energiasta häviää ympäristöön, mikä ilmenee mm. kaikenlaisena voivotteluna ja valitteluna.

Niin ... Châtelet piti Maupertuista jonkun aikaa rakastajanaan ja jatkoi kirjeenvaihtoa tämän kanssa vielä senkin jälkeen, kun oli uudelleen sulkenut suosionsa Voltairen. Ehkä Voltaire ei oikein ymmärtänyt kirjeenvaihdon luonnetta, kun hän sitten myöhemmin sekaantui Königin ja Maupertuis'n väliseen kismaan kirjoittamalla ilkeämielisen pamfletin Maupertuis'ta. Kaiketi Châtelet'n markiisitar olisi vielä sotkun selvittänytkin, mutta kun hän oli jo vuosia aiemmin kuollut synnytyksen jälkeiseen komplikaatioon. Silloin Émilie oli jo Voltairen lempannut ja ottanut uuden rakastajan.

Variaatioperiaate kyllä juurtui fysiikkaan, muttei siinä Maupertuis'n esittämässä muodossa. Tämä tuskin kuitenkaan seurasi tuosta kiusallisesta kärhämästä, aikansa kalabaliikista vaan ehkä ennemminkin siitä, ettei Maupertuis'n liikeyhtälö sopinut ajan henkeen – eikä taida sopia oikein vielääkään. Osoittautui nimittäin, ettei liikeyhtälöä voida yleensä ratkaista. Kun se ei ole laskettavissa, sen avulla ei voi tehdä tarkkoja ennustuksia. Euler toki tunti laskettavuuden puutteen, muttei pitänyt sitä puutteena vaan ansiona, ts. luonnon oikeana kuvauksena.

Laskettavuuden puute ilmenee esimerkiksi siten, että kun kivi vierii mäen laelta laakson pohjalle, niin mäkihän siinä hieman madaltuu ja laakso vähän täyttyy. Kun liike kuluttaa liikevoimia, tässä tapauksessa liikettä ajavaa korkeuseroa, muuttujia ei voida erotella differentiaaliyhtälön ratkaisemiseksi. Vastaavasti voidaan todeta, että kun integrointirajat, tässä tapaukset korkeudet, muuttuvat integroitaessa, määrätyle integraalille on mahdotonta saada tarkkaa arvoa. Vanhan luonnonlain mukaan kyvyttömyytemme tehdä tarkkoja ennustuksia ei siis pohjimmiltaan johdu siitä, että järjestelmä olisi liian monimutkainen tai että tietomme järjestelmästä olisivat liian puutteellisia, vaan se on luonnon tapahtumainkulun ominaisuus.

Eihän tuo energiamaiseman muutos suuren suurelta vaihtua, mutta on kuitenkin samansuuruinen kuin kiveen itseensä liittyvä liike-energian muutos. Siksi vanha *vis viva* on kaksi kertaa niin suuri kuin nykyinen ja näin nähtynä vajavainen liike-energian määritelmä $\frac{1}{2}mv^2$.

Kertomani luonnon tapahtumainkuluista ts. historiansa uurtavista eli nk. epäholonomisista prosesseista on tietysti meille kaikille tuiki tuttua arkipäivää. Itse kullakin meistä

on takanaan henkilöhistoriansa, elämällä kokonaisuudessaan pitkä kehityshistoriansa, kuten myös koko maailmankaikkeudellakin. Kuitenkin fysiikan historia kertoo kulusta kohti historiatonta fysiikkaa. Niinpä me nykyään hellimme teorioita, jotka ovat laskettavia, vaikeaväit ne holonomisina kuvailuina kuvaakaan tapahtumainkulkua. Edellytämme esimerkiksi, että matemaattisen muodon tulee olla unitaarinen, ts. että järjestelmään liittyy normi, mm. että todennäköisyyksien summan tulee olla yksi. Vaihtoehtoisesti vaadimme, että teorian tulee olla mittainvariantti. Emmy Noetherin teoreeman mukaan tuo vakioinen vaikutus vastaa rikkumatonta symmetriaa. Kuitenkin luonto kehittyy tilasta toiseen symmetriansa rikkoen. Niinpä nuo laskettavuuden vaateet ovat vanhan luonnonlain mukaan ennemminkin vain meidän toiveitamme siitä, minkälaisen soisimme luonnon olevan kuin ymmärrystä siitä, minkälainen luonto on.

Tätä taustaa vasten olisikin kovasti kiinnostavaa kuulla, miten Maupertuis mahtaisi selittää muutamia nykyfysiikan ongelmalliseksi kokemaa havaintoja. Erityisesti niitä, joiden myötä on syntynyt sellaisia hämähä käsitteitä kuten pimeä energia ja pimeä aine sekä nk. Higgsin mekanismi, joka antaa hiukkasille massan. Valitettavasti luonnon väijäämätöiden tapahtumainkuluin takia Maupertuis ei enää ole näitä meille selittämässä, mutta koska tuo periaate energiaerojen mahdollisimman nopeasta tasoittumisesta on niin tavattoman yksinkertainen, niin ehkäpä minäkin kykenen sitä tässä ainakin auttavasti seuraamaan. Arvatenkin vanhan luonnonlain selitykset ovat perin yksinkertaisia, elleivät peräti triviaaleja nykyfysiikan monimutkaisiin malleihin verrattuna – mutta sitä olennaisempaa meidän on kai kuitenkin kysyä, ovatko ne oikein.

3 Pimeä energia

Todisteena pimeästä energiasta pidämme sitä, että kaukaiset supernovat leimahtavat himmeämpinä kuin niiden etäisyyden perusteella yleisen suhteellisuusteorian mukaan pitäisi loistaa. Räjähäneen tähden magnitudi muuttuu nopeammin kuin etäisyydestä kielivä taajuus siirtyy punaiselle. Havaintoineisto ei siis seuraa yhtä suoraa vaan kaartuu kaukaisuudessa. Tästä olemme tehneet sellaisen johtopäätöksen, että avaruus laajenee kiihtyen toistaiseksi tuntemattoman pimeän energian turvin.

Pienimmän vaikutuksen lain mukaan tähden räjähdyksessä valona vapautuva energia tasoittuu ympäristöönsä mahdollisimman nopeasti leviten laajenevalle pallokuorelle. Joten valon intensiteetti pienenee kääntäen verrannollisena optisen etäisyyden neliöön ja suoraan verrannollisena tehoon, joka pienenee siinä määrin kuin avaruus ehtii laajentua eli laimentua sillä välin kun valo kiirii kohti meitä. Kun teho ja etäisyys lausutaan punasiirtymän avulla, nähdään, ettei intensiteetin logaritmi eli magnitudi ole yhden tekijän funktio, joten se ei voi seurata vain yhtä suoraa vaan kaartuu kaukaisuudessa. Käyrä ei ole sovitus vaan johtopäätös olettaen, että maailmankaikkeuden ikä on 13.7 miljardia vuotta. Sellaisenaan se kuitenkin näyttää selittävän havaintoja ilman pimeää energiaa. Vanhan luonnonlain mukaan maailmankaikkeus laajenee, ei alkupaukun sinkoamana

vaan mahdollisimman nopeasti tasapainoa tavoitellen yhä edelleen, koska tähdet ja monet muut mekanismit, mukaan lukien myös itsemme, pilkkovat aineen koostavat kvantit tyhjiön täyttäviksi vapaiksi fotoneiksi.

4 Pimeä aine

Todisteena pimeästä aineesta puolestaan pidämme mm. sitä, että kaukaisen galaksin takaa tuleva valonsäde taipuu galaksia sivutessaan enemmän, liki viisi kertaa enemmän kuin yleisen suhteellisuusteorian mukaan galaksin näkyvän aineen pitäisi painovoimansa myötä muuttaa valon suuntaan.

Pienimmän vaikutuksen lain mukaan valo etenee yhtä pitkinä ajanjaksoina yhtä pitkät kaaret. Vastaavasti planeetta etenee radallaan yhtä pitkinä ajanjaksoina pinta-alaltaan yhtä suuret sektorit. Tuo Johannes Keplerin löytämä laki niin ikään seuraa pienimmän vaikutuksen laista. Sillä lasketuna valonsäde taipuu liki viisi kertaa enemmän kuin yleisen suhteellisuusteorian mukaan sen pitäisi taipua. Joten vanha luonnonlaki ei kaipaakaan pimeää ainetta selittämään valon taipumista.

Totta kai meitä nyt ihmetyttää, eikö pienimmän vaikutuksen lain mukaan kaukaisesta tähestä tuleva valonsäde taipuisi auringon pintaa viistäessään paljon enemmän kuin on havaittu. Tuon vaikean täydellisen auringonpimennyksen aikaan tehtävän mittauksen teki ensimmäisenä Sir Arthur Eddington vuonna 1919. Nykyään auringon painovoimakentän vaikutus fotonien kulkuun voidaan mitata tarkemmin siitä, kuinka paljon radiosignaali viivästyy matkallaan Venukseen ja takaisin sivutessaan aurinkoa. Pienimmän vaikutuksen laki antaa em. yhtälön mukaisesti oikean tuloksen 195 μ s. Kuten tunnettua yleinen suhteellisuusteoria antaa saman oikean tuloksen, mutta laskettuna eri yhtälöstä kuin se, mistä sillä teorialla lasketaan valonsäteen taipuminen. Niin ... miksi me oikeastaan tarvitsemme kahta eri yhtälöä saman ilmiön, fotonien kulun kuvaukseen?

Kun taipuma selvittää vertaamalla yötaivaalta ja samoin kaukoputkiasetuksin auringonpimennyksen aikaan mitatun säteen suuntaa, on olennaista huomata, etteivät kaukaisesta tähestä yhdensuuntaisina saapuvat säteet gravitaatiolinssin läpi kuljettuaan enää tarkasti ottaen voi kulkea kaukoputken polttopisteen kautta. Jollemme ota tätä huomioon suuntais-siirtymänä, taipuma näyttäytyy liian pienenä.

Toki todisteena pimeästä aineesta pidämme myös sitä, että kierteisgalaksin kehänopeus v kasvaa galaksin keskuksesta poispäin kun taas planeettojen kehänopeudet pienenevät aurinkokunnan keskuksesta poispäin. Galaksin kehänopeus kasvaa kaukaisuudessa kohti empiirisen nk. Tully-Fisher relaation antamaa arvoa, jossa $v^4 = aGM_0$ on verrannollinen galaksin massa M_0 ja pieneen kiihtyvyystermiin a , joka on, ihme kyllä, valonnopeuden ja maailmankaikkeuden osamäärän eli valonnopeuden ja Hubblen vakion tulon suuruusluokkaa $a = c^2/R = c/T = cH_0$.

Pienimmän vaikutuksen lain mukaan tähtijärjestelmän suurin piirtein stationaarinen dynamiikka kertoo siitä, että galaksi, kuten puron pyörre veden virrassa, on likimain tasapainossa ympäristönsä kanssa. Joten esimerkiksi vetykaasumolekyylit kiertäessään kaukana galaksin hohtavasta reu-

nasta kokee koko galaksin aiheuttaman kiihtyvyyden yhtä suurena kuin koko avaruuden kaarevuudesta aiheutuvan kiihtyvyyden, ts. $a = v^2/r = c^2/R$. Kaarevuus kun vastaa kiihtyvyyttä, kuten Carl-Friedrich Gauss jo opetti. Vasta täydellisessä Euklidisessä tasaisuudessa kaikki voimat ovat ehtyneet. Joten Tully-Fisher -relaatio saadaan yksinkertaisesti Maupertuis'n liikeyhtälön tasapainosta, tuosta tutusta Keplerin laista, kertomalla puolittain nopeuden neliöllä v^2 ja merkitsemällä kiihtyvyyksien vastaavuus. Vanha luonnonlaki ei siis kaipaakaan pimeää ainetta selittämään näitäkään havaintoja vaan sen mukaan galaksi pyörii avaruuden kaarevuudessa eli voimakentässä aivan samoin kuin pyörremyrsky pyörii lämpötilaeron tuottamassa voimakentässä. Todetakoon lisäksi, että pienimmän vaikutuksen lain mukaan myös Merkuriuksen perihelin anomaalinen kiertyminen 43'' vuosisadassa aiheutuu maailmankaikkeuden massasta.

5 Painovoima

Mittausten kanssa yhtäpitävät tulokset teorialla tai toisella laskettuna eivät sinänsä selitä vaan ymmärrämme ilmiön vasta kun sen kuvaus on sopusoinnussa arkikokemustemme kanssa. Tuolloin 1600-luvun lopulla kun tieteenalojen eriytyminen oli vasta aluillaan, esimerkiksi omenan putoamista pidettiin luonnon tapahtumainkulkuna siinä missä kemiallista reaktiotakin, jossa vapautuu lämpöä, ts. fotoneja. Johtopäätös fotoneista vaikuttaa aluksi oudolta mutta lopulta loogiselta, sillä kun ajan reaktiota vastakkaiseen suuntaan nostamalla omenaa takaisin ylöspäin, fotoneja sitoutuu massojen käsittämään järjestelmään, sillä teen tämän työn syömäni ruuan turvin, joka on viimekädessä tuotettu auringonvaloa absorboimalla. Vanhan luonnonlain mukainen johtopäätös siltä epäilyttää meitä, sillä emmehän näe valoa vapautuvan omenan pudotessa. Ilmeisesti fotoneja vapautuu pareittain vastakkaisissa vaiheissa, jolloin niiden sähkömagneettiset kentät sammuttavat toisensa, mutteivät fotonit sinänsä häviä minnekään, vaan jatkavat kulkuaan. Jos toisin tuumaisimme, pahoin pelkään, että Euler moittisi meitä kuten Königiä aikoinaan kvanttien säilymislain pilkkaamisesta.

Gravitaatio on siis voima, kuten mikä tahansa muukin voima, ei yksin puoleensavetävä tai hylkivä, vaan järjestelmän ja ympäristön välinen energiaero, oli se sitten kumminpäin hyvänsä, joka sysää järjestelmän liikkeeseen, jotta tuo ero vähenisi mahdollisimman nopeasti. Niinpä nyky-maailmankaikkeuden kylmyydessä kieppuvat lähigalaksit lähestyvät meitä, kun taas varhaisen maailmankaikkeuden lämmössä kylpevät kaukaiset galaksit loittonevat meistä. Aivan samoin kuin nykyään puhumme gravitaatiosta yksinomaan puoleensavetävänä voimana, taidamme myös kategorisesti sanoa, että vastakkaismerkkiset varaukset vetäisivät toisiaan puoleensa, mutta tosiasiaassa voiman suunta riippuu erosta ympäristöön nähden. Ilmiselvästi vastakkaismerkkiset varaukset hylkivät toisiaan suolakiteen liuotessa veteen.

6 Hiukkaset vaikutuksina

Kun järjestelmän vähäisimpäänkin muutokseen tilasta toiseen näyttäisi liittyvän vähintään yhden kvantin menettämi-

nen tai saaminen, niin sen atomistisen ajattelun mukaan, jonka mm. Newton omaksui Galileo Galileilta, kaikki koostuu viime kädessä luonnonperusosasta, vaikutuskvanteista. Esimerkiksi elektroni, jota André-Marie Ampère piti dynaamisena toruksena, koostuisi tämän logiikan mukaan peräperään toisissaan kiinni olevista kvanteista, joiden muodostaman käyrän silmukoiden lukumäärä vastaa varausta, pinta-ala magneettista momenttia ja kaarevuus massaa. Jo Euler tiesi, että geodeettinen kaarevuus summattuna käyrää pitkin antaa käyrän tunnusomaisen suureen verrattuna ympäristön kaarevuuteen, siis viimekädessä maailmankaikkeuden hyvin, hyvin laakeaan kaarevuuteen nähden. Näin nähtynä hiukkasen massa ei siis seuraa jokin toisen massallisen hiukkasen ominaisuuksista vaan kertoo geometrisesti, kuinka paljon tyhjiön täyttävien fotonien täytyy suoraviivaista kulkuaan korjata sopeutuakseen eli ollakseen tasapainossa hiukkaseksi kvantittuneen vaikutuksen ympäristössä. Tuo tyhjiön tihtenymä ilmenee painovoimakenttänä.

Eulerin laskun mukaan elektronin massa on vähäinen, sillä toruksen vastakkaisilla puolilla olevat kvantit ovat vain radan nousua vaille vastakkaisissa vaiheissa, joten niiden nettosumma geodeesin yli jää vähäiseksi. Sen, kuinka monta kvanttia elektroni käsittää, kertoo hienorakennevakio $\alpha \approx 1/137$. Luku lausuu elektronin tyhjiöön indusoiman sähkökentän vaikutuksen verrattuna yhden suljetun silmukan vaikutukseen eli vahvaan vaikutukseen \hbar . Toruksen 137:n pienen ja niitä vastaan kohtisuorassa olevan yhden suuren silmukan käyrä sulkeutuu täsmälleen 138:lla kvantilla, sillä kierteisen käyrän nousun takia kvantteja on vähintään yksi enemmän kuin pieniä silmukoita.

Vanhasta rautalankamallista seuraa, että protoni puolestaan koostuu kahdesta up-kvarkista ja yhdestä down-kvarkista, sitten että kukin u-kvarkki käsittää $\frac{2}{3}$ positronin toruksesta ja d-kvarkki $\frac{1}{3}$ elektronin toruksesta, jotka liittyvät toisiinsa kolmella hyvin lyhytaaltoisella gluoneiksi kutsutuilla fotonilla. Neutroni rakentuu vastaavasti. Näistä tetraedri-rakenteista saadaan jo yksinkertaisten geometrysten laskujen tuloksina lukuarvot protonin ja neutronin varauksille, magneettisille momenteille ja massoille, jotka sellaisinaan ovat varsin lähellä mitattuja arvoja. Myös mesonit ja heikon vuorovaikutuksen välittävät bosonit voidaan mieltää geometrisina vaikutuksina, eräänlaisina säikeinä, mitattujen ominaisuuksiensa mukaisesti. Kvantittuneiden vaikutusmallien myötä ydinreaktiot, esim. elektronikaappaus, voidaan kuvata kuten kemialliset reaktiot atomimallin. Summa summarum kvantista kosmokseen Keplerin sanoin *missä materiaa siellä geometriaa*.

7 Yhteenveto

Sen vanhan kokonaisvaltaisen luontokäsityksen mukaan, jota olen viime vuosina opiskellut, kaikki koostuu viimekädessä vaikutuskvanteista, joiden väliset energiaerot vähenevät vuorovaikutuksin mahdollisimman nopeasti. Tuo yleinen luonnonlaki ei tee eroa elävän ja elottoman välille, eikä myöskään sitä eroa biologian ja fysiikan välille, jonka perään kyselin kymmenisen vuotta sitten, vaan ilmenee kaikkialla luonnossa havaittavina mittakaavattomina piirteinä

vinoina likimain logaritminormaalisisina jakaumia, jotka kertyvät sigmoidaalisesti siten seuraten logaritmi-logaritmi asteikolla likimain suoria eli potenssilakeja. Esimerkiksi geenien pituusjakaumat kertyvät samoin kuin sanojen pituusjakaumat. Maankuorelta mitattujen järjestysten suuruusjakauma on samanlainen kuin aivokuorelta rekisteröityjen mielenliikkeiden jakauma. Niinkään maapallolla laajenevan tietoliikenneverkon fraktaalinen rakenne on samaa muotoa kuin taivaankannella levittäytyvä galaksien rihmasto. Samanlaisuus ei ole sattumaa vaan seurausta samasta syystä: energiaerojen mahdollisimman nopeasta vähenemisestä. Newtonin sanoin *luonto on aidon yksinkertainen, ei tulvilaa turhia tekijöitä*.

Myös ihmetykseni, eikö biologian evoluutioteoriaa todellakaan ole kirjoitettu fysiikan teoriana, osoittautui aiheettomaksi. Sehän on pienimmän vaikutuksen laki alkuperäisessä Maupertuis'n antamassa muodossa. Luonnonvalinnan kriteeri on energiaerojen mahdollisimman nopea väheneminen, tapahtui se sitten lisääntyen tai erilaistuen tai miten muutoin tahansa. Myöhemmin Darwin kuvaili samaa suuremmin aineistoin mutta suppeammin käsittein eliökunnan kehityksestä kertoessaan. Nykykertomus on karttunut lukuisten yksityiskohtien luetteloksi, mm. geenikirjastoiksi mutta kaventunut käsitteellisesti jo jääden vaille viitettäkään keskeiseen kysymykseen, miksi luonto kehittyy. Kuinka viisaalta vaikuttaakaan Alexander von Bungen, Tarton yliopiston kasvitieteen professorin toteamus 1800-luvun puolivälin tienoilta, että *ymmärtääkseen luonnon yksityiskohtia, on tunnettava luonto kokonaisuudessaan*.

Niin ikään vastoin otaksumaani ei ollut ylivoimaisen vaikeaa kirjoittaa kaikenkattavaa luonnonlakia täsmälliseen matemaattiseen muotoon. Pikemminkin täsmällisestä matemaattisesta muodon löytymisestä siunaantui liki ylivoimaisilta vaikuttavia vaikeuksia. Olkoonkin, että ovat vain harhaisia laskettavuuden vaatimuksia ja perusteettomia ennustettavuuden edellytyksiä, yhä ne varjostavat kirkasta käsitystä, yksinkertaista ymmärrystä siitä, että luonto kehittyy kuluttaen vapaata energiaa mahdollisimman nopeasti.

Hyvät kollegat, vanhan luonnonlain luonne ei ole odotustemme mukainen, mutta ovatko odotuksemme luonnon mukaisia? Ellei epäile, ei selvitä. Ja jos selvittää, tokkopa kokonaisvaltaista luontokäsitystä voi omaksua vain perehtyen siitä kertoviin papereihin, vaan lienee välttämätöntä itse johtaa pienimmän vaikutuksen laki esimerkiksi todennäköisyyden käsitteestä lähtien, ja analysoida yleisen luonnonlain luonne sekä tietysti testata sen selitystä mitä moninaisimmissa yhteyksissä. Tuolloin toisin oppiessaan jo opimansa on myös rasite, sillä on varsin vaikea hylätä hyväksymäänsä. Varsinkin silloin kun eheä katsantokanta pitää aivan alusta alkaen perustaa, sitä mieluummin entistään pusaa, jopa hämärin käsittein tukien, vaikkei siten tukevaa saakaan. Niinpä meille kaikille opettajille vaativassa ja vastuullisessa työssämme lienee toisinaan paikallaan myös Stanisław Jerzy Lecin mukaillen muistuttaa, että *monta asiaa olisin oppinut, ellei niitä olisi minulle opetettu*.

Kiitos mielenkiinnosta.