

Ikääntyvien yliopiston

luentosarjassa 14.1.2015, Jyväskylä

Selittävätkö luonnonlait kaiken?

Arto Annala

Helsingin yliopisto

Johdanto

Hyvät kuulijat. Olen tullut tänne, en niinkään vastatakseni teille, vaan kysyäkseni teiltä: Selittävätkö luonnonlait kaiken? Tämän kysymyksen ruotiminen vaatii monipuolista käsitystä todellisuudesta, sanalla sanoen elämäkokemusta. Siksi odotan, että juuri teidän kysymyksenne tulevat osoittamaan minulle, mistä puhumme, kun puhumme kaikesta? Niin ikään arvelen, että juuri teidän huomionne tulevat kerkotamaan minulle siitä, mikä mielletään todellisuuden selitykseksi, mikä vain malliksi maailmasta. Kaiken teorian, olakseen todella kaiken teoria, tulee olla myös *kaikkien* teoria, ei vain oppiin vihkiytyneiden, vaan meidän kaikkien on käsitettävä, mitä yleinen luonnonlaki kertoo kaikesta.

Toivon siis, että alustukseni virittäisi teidät kysymään ja pohtimaan. Kuitenkin silloin kun olen itse ollut kuuntelijana, on kysymykseni usein takertunut kurkkuuni. Tänäpäin ei kuitenkaan kenenkään ole syytä arastella, sillä eihän mikään kysymys voi olla aiheen vierestä, kun kerta kaikki on puheena. Kysymyksistänne ja kommentteistanne pyrin päättelämään, millä tavoin koette, jos sitten niin koette, että kaiken selitys on vielä jotenkin vajaa.

Ajatus

Ajatus kaiken teoriasta on kiehtonut ihmistä iät ja ajat. Kaiken käsittäminen vain yhden, yksinkertaisen periaatteen kautta avaisi arvatenkin huikean näkymän todellisuuteen. Onko kuitenkaan mitään syytä otaksua, että luonnon koko kirjo ja kaikenlainen monimutkaisuus sekä tapahtumain toisinaan arvaamaton kulkukin voisi olla vain yhden ja saman luonnonlain ilmentymää?

Tokkopa. Tuon tuostakin epäonnistumme ennustamaan niin talouden heilahteluita kuin yhteiskunnallisia murroksia ja ennakoimaan niin keksintöjen vaikutuksia kuin energiavarojen riittävyttä. Yhtälailla joudumme hyväksymään uusimpien havaintojen horjuttavan entisiä käsityksiämme niin maailmankaikkeuden kehityksestä kuin alkeishiukkasten ominaisuuksista kuten myös perintötekijäin merkityksestä ja ilmaston muuttumisesta. Ei näytä siltä, että mitä enemmän tiedämme, sitä vähemmän tarvitsimme selityksiä. Pikemminkin vaikuttaisi olevan juuri päinvastoin.

Nykyään vaadimme, että mallit vastaavat havaintoja – emme ensisijaisesti ymmärrystä. Pidämme yhteensopivuutta selityksenä, mutta erehdymme. Vaikka malli sopii aineistoon, ei se sellaisenaan selitä ilmiötä. Siitä huolimatta tavoittemme entistä tarkempaa vastaavuutta dataan ja siksi muokkaamme mallejamme aineen rakenteesta ja kosmoksen kehityksestä, luonnon monimuotoisuudesta ja ilmaston

muutoksesta sekä ihmisestä itsestään ja hänen yhteiskunnasta ennemminkin monimutkaisemmiksi kuin yksinkertaisemmiksi sekä pikemminkin kapea-alaisemmiksi kuin kattavimmiksi.

Tämän, tieteelliseksi edistykseksi mielletyn kehityksen myötä toive kaikenkattavan ja yksinkertaisen teorian löytämisestä hiipuu. Synkkyys sen kuin syvenee sillä matemaattisen logiikan kuuluisan tuloksen mukaan: *Ei edes periaatteessa ole mahdollista ratkaista kaikkia yhden rajatun teorian piiriin kuuluvia ongelmia*. Asian harrastaja ei ehkä ole seikkaperäisesti selvillä tällaisista täydellisyyden tavoittelun pulmista, mutta voisiko asiantuntija muuta kuin turhautua ja todeta: Maailma ylittää käsityskykymme niin rikkaudessaan kuin outoudessaan. Eikö jo ole aika luopua ikivanhasta, vaikkakin niin ihanasta ideasta: kaiken teoriasta? Moni varmaan on jo.

Maailma, koko kirjossaan ja konstikkuudessaan, ei kuitenkaan ole aivan järjetön eikä umpi outo. Meidän ei esimerkiksi tarvitse kotiovelta ulos astuessamme pelätä, että joutuisimme jonkin jurakauden hirmuliskon saaliiksi, saati sitten jonkin tulevaisuuden aikakauden kulkuneuvon yliajaksi. Eikä meillä ole aihetta kauhuun, että aine, josta koostumme, voisi jotenkin yhtäkkiä hävitä olemattomiin tai että koko maailmankaikkeus olisi jotenkin epävakaa ja voisi yllättäen luhistua johonkin tyystin toisenlaiseen tilaan. Tällaisesta pohjattomasta sekasorrosta ja määrättömästä arvaamattomuudesta ei ole mitään merkkejä, teoreettisia arveluita kumminkin.

Olkoonkin, että tavan takaa mallimme maailmasta ja niiden antamat ennustukset osoittautuvat summittaisiksi ja vajavaisiksi, niin sittenkin havaitsemme kaikkialla johdonmukaisuutta ja tunnistamme lainalaisuuksia. Onpa oppiaineet ylittävääkin säännönmukaisuutta. Suuri säännönmukaisuus jää kuitenkin meiltä helposti huomaamatta. Olemme harjaantuneet havaitsemaan eroja, emme yhtäläisyyksiä.

Varhaiset esi-isämme osasivat erottaa ravinnekasvin rikkaruohosta; me kykenemme poimimaan jo yhdenkin geenivirheen sairauden taustalta. Sellaiset sata vuotta sitten saatoimme erottaa kullasta promillen pitoisuuksina olevia epäpuhtauksista, nyt pystymme valmistamaan puolijohteita, joissa epäpuhtausatomeja on alle yksi miljardista. Erikoistumisen myötä olemme oppineet tekemään pienimpiäkin eroja ja näkemään vähäisempiäkin eroavaisuuksia. Eroista elämme. Kuitenkin käsittääksemme, miten maailma toimii, meidän tulisi koulua itseämme myös oivaltamaan yhtäläisyyksiä ja tunnistamaan samanlaisuutta. Mutta mitenkäs meitä tähän taitoon oikein opetetaan?

Universaalit piirteet

Jo koulussa opettajat teroittivat, että kuvaajiin tulee merkitä akseleiden nimet ja käytetyt yksiköt. Muutoinhan on mahdollonta tietää mitä kuvaaja esittää. Miten oikeassa he olivatkaan. Jollei kuvaajien akseleita ole merkitty, niin bakteeripesäkkeen vuorokauden kasvukäyrä näyttää samanlaiselta

kuin raakaöljyn tuotannon kasvu viimeisen sadan vuoden aikana. Sitä samaa käyrää seuraa elimistömme vaste lääkeannoksiin. Ja sitä samaa sääntöä seuraten lainasanat leviävät kieleemme. Alun outous tulee pian tutuksi. Kohta sopiva sana on liki kaikkien huulilla, mutta sitten voittokulku taittuu arkiseksi käynniksi, kun viimeisimmätkin omaksuvat jo tavanomaiseksi käyneen uutuuden. Sitä samaa sigmoidista eli s-käyrää pitkin karttuu yksittäisen hermosolumme vaste ärsykeistään, ja niin täyttyy mittamme toistuvasta ärsytyksestä. Itse evoluutiokin osoittautuu vuosimiljardien kuluessa kertyneiden fossiilien perusteella edenneen, ei tasaisen verkalleen vaan pyrhdyksittäin, perättäisiä s-käyriä seuraillen.

Jollei kuvaajien akseleita ole merkitty, niin geenien pituusjakaumat näyttävät samanlaisilta kuin sanojen pituusjakaumat. Palkkojen ja varallisuuden jakaumat ovat samalla lailla vinoja. Enimmäkseen on keskitulolaisia. Vähän on toimeentulon rajalla sinnitteleviä köyhiä ja myös kaiken kaikkiaan rikkaita, porhosta pohataan, on vain vähän. Myös auringonvalo loistaa voimakkaimmillaan väreissä ja hupenee pian ultravioletialueella sekä vähenee verkalleen infrapuna-alueella. Niin ikään kaikenlaisten eläin- ja kasvipopulaatioiden jakaumat ovat samalla lailla vinoja.

Ja jollei kuvaajien akseleita ole merkitty, niin maanjäristysten kokojakauma näyttää samanlaiselta kuin aivokuorella hetkittäin aktivoituneiden alueiden kokojakauma. Myös galaksien välisten etäisyyksien jakauma seuraa logaritmi-logaritmi asteikolla pääosin suoraa, kuten seuraa myös suurkaupungin linja-autopysäkkien välimatkojen jakauma. Niin ikään kosmisten säteiden energijakauma noudattaa paloittain potenssilakia. Myös lajien runsaus karttuu pinta-alan myötä tämän, nk., potenssilain mukaisesti.

Suuri samanlaisuus on toki huomattu. Sitä on mallinnettu, muttei ymmärretty. Jo 1800-luvun puolivälissä Pierre François Verhulst, Brysselistä kotoisin ollut matemaatikko, huomasi, että moni kasvukäyrä seurailee, nk., logistista käyrää, mutta miksi, on vastaustaan vailla. Niin ikään englantilaismatemaatikko Francis Galton ja skottilääkäri Donald MacAlister hoksasivat, että moni vino jakauma saadaan likimain normaalijakauman muotoiseksi ottamalla muuttujasta logaritmi, mutta miksi, on vastaustaan vailla. Myös italialainen yhteiskuntatieteilijä Vilfredo Pareto ja amerikkalainen kielitieteilijä George Zipf panivat merkille, että moni aineisto seurailee logaritmi-logaritmi asteikolla suoraa eli noudattelee pääpiirteissään potenssilakia. Mutta miksi? Sitä ei tiedetä.

Kun kuvaajat on esitetty vailla merkintöjä aineiston alkuperästä ja mittakaavasta, niitä voi muunnella toistensa kaltaisiksi akseleita venyttämällä. Eipä siis luonto itse tee eroa elävän ja elottoman tai mikroskooppisen ja kosmisen tai yksinkertaisen ja monimutkaisen välillä, vaan asteikot ja muut merkinnät ovat meidän itsemme keksimiä. Onpa vielä niin, että s-käyrä, vino jakauma ja logaritmi-logaritmi asteikon suora ovat yksi ja sama käyrä, sillä s-käyrä kertyy vinosta jakaumasta ja kun tuo summakäyrä piirretään loga-

ritmi-logaritmi asteikolle, niin se seuraa pääosin suoraa eli noudattaa potenssilakia.

Eikö juuri tämä suuri samanlaisuus kieli siitä, että yksi ja sama lainalaisuus ilmenee niin sosiaalisissa verkostoissa kuin eliöiden ravintoketjuissa, niin perimämme kuin kieleemme rakenteissa, niin kosmoksen kaukaisuudessa kuin aineen yksityiskohdissa? Kun suuri samanlaisuus kuvastuu kaikessa mitä olemme havainneet ja mitanneet, voisiko johtopäätöksemme olla mitään muuta kuin: *Kaikki, pienimmästä suurimpaan ja yksinkertaisimmasta monimutkaisimpaan, noudattaa yhtä ja samaa periaatetta.* Kerron seuraavaksi tästä kaikenkattavasta lainalaisuudesta, yleisestä luonnonlaista.

Yleinen luonnonlaki

Yleinen luonnonlaki on meille kaikille tuiki tuttu, vaikkemme olisi maailmaa sen avulla aiemmin tietoisesti jäsentäneetkään. Lainalaisuus on niin ilmeinen, ettemme edes kiinnitä siihen mitään huomiota. Meitä ei esimerkiksi hämmästyttä vähääkään, että kivi putoaa suoraan kohti maata, mutta kummeksuisimme kovasti, jos matka mutkittelisi. Niin ikään meitä ei ihmetytä yhtään, että puro soljuu jyrkintä juonnetta pitkin alaspäin, mutta äimistelisisimme aikamoisesti, jos virta siellä sun täällä luikertelisi tunturia ylöspäin. Meitä ei myöskään yllätä yhtään, että kirvat, etanat tai muut tuholaiset leviävät puutarhassa kasvusta toiseen, mutta jos yksin verso olisi kuin ihmeen kaupalla välttynyt vitsauksilta, etsisimme syytä moiseen.

Tapahtumat eivät siis vain tapahdu, vaan ne tapahtuvat mahdollisimman nopeasti. Jollei asia joudu yhdellä tavalla, niin kyllä kohta toisella. Jollei jokin eliölaji pysty hyödyntämään uudenlaista ravintoa, niin kohta jo toinen sitä syö. Jollei ihminen tartu tilaisuuteensa, niin kohta jo toinen onnensa ottaa. Jollei yritys kehittä uutta tuotetta, niin kohta jo kilpailija sen tekee ja menestyy markkinoilla. Maailma toimii juuri niin kuin Charles Darwin sanoi: *Ei se ole vahvin lajeista, joka menestyy, eikä älykkäin, joka menestyy, vaan se, joka sopeutuvuuden muutoksiin.*

Kaikki järjestelmät, niin galaksit kuin alkeishiukkaset kuten myös yhteiskunnat ja yksilöt, ovat ympäristöjensä armoilla. Ne syntyvät, kehittyvät, kypsyvät ja kuolevatkin saavuttaakseen tasapainon ympäristönsä kanssa, ja vieläpä mahdollisimman nopeasti. Vasta kun järjestelmä on kulkenut taipaleensa tasapainoon, muutosvoimat raukeavat. Silloin ei enää mikään pakota muuttumaan. Moni pieni siinä missä isokin järjestelmä saa kokea tuon tasapainotilan vain ohi kiitävän hetken, sillä kun kaikki riippuu kaikesta, olosuhteet muuttuvat tuon tuostakin. Alati avautuu uusia mahdollisuuksia ja entisiä sulkeutuu.

Terveen järjen tunneimme. Se on sopusoinnussa kokemustemme ja havaintojemme kanssa. Kaikki, mitä yleinen luonnonlaki kertoo, on tarkalleen sitä samaa, siis suorastaan itsestään selvää. Tuon teorian kautta katsottuna maailma ei ole monimutkainen eikä kummallinen vaan toimintaperiaatteeltaan yksinkertainen ja käsitettävä.

Antiikin Kreikassa sana *theoria* tarkoitti katsomista ja tarkastelemista, ei sen kummempaa. Nykyteoriain ei tarvitsisi olla liioin ihmeellisempiä. Tarkastellessamme kaikkea, vieläpä täsmällisesti, tarvitsemme kattavimmat käsitteet, emme ainoastaan mittavimmat havaintoaineistot ja huolellisimmat muistiinpanot. Toki tarkimmista teleskoopeista ja mikroskoopeista kuten myös pitkäaikaiseurannoista ja tuoreimmista gallupeista on silmiämme suurempaa apua, mutta sittenkin jokainen mittaustulos ja jokainen havainto tulee vääjäämättä tulkituksi jokin ajatusrakennelman, teorian kautta. Paljas numero ei sellaisenaan merkitse mitään. Merkitys kumpuaa selityksestä. Se on suhteessa kokeamaamme ja oppimaamme. Joten ei ole yhdentekevää, mille ajattelumme perustamme, ja mitä omaksumme. Sille rakentuu, ei vain yksi vaan pian toinenkin johtopäätöksemme, kohta koko maailmankuvamme.

Lainalaisuus

Mikä on tuo ylimmäinen lainalaisuus, joka ilmenee suurena samanlaisuutena, sellaisena, joka ei erottele elävää elottomasta eikä suurta pienestä eikä monimutkaista yksinkertaisesta? Kyllä kai olisimme kuulleet näin keskeisestä luonnonlaista, jos se olisi jo löydetty? Löydetty se kumminkin on, vaan ei yleisesti tunnettu.

Muistanette, että valo valitsee aina nopeimman reitin. Sen takia valonsäde taittuu ilmasta jyrkästi veteen, sillä vedessä valo etenee hitaammin kuin ilmassa. Jollei tätä ota huomioon, ei atrain osu kalaan. Tämän tiesivät tietysti myös kaksoisvirtainmaan kalastajat. Sielläpäin oppineet osasivat myös laskea valon kulun jo 500 vuotta aiemmin kuin meille tuttu Pierre de Fermat, ranskalaismatemaatikko ja lakimies, esitteli valon kulun lyhimmän ajan periaatteen.

Ei vain valo vaan kaikki muutkin energian virrat eli *tapahtumainkulut* valitsevat nopeimmat reitit. Tämän tajusi sata vuotta myöhemmin, siis 1700-luvun alkupuolella, Pierre-Louis Moreau de Maupertuis. Eipä liene Maupertuis kuitenkaan monelle entuudestaan tuttu, mutta ei hän meilä aivan vieraskaan ole.

Talvella vuosien 1736-37 taitteessa hän retkikuntineen mittasi Torniojokilaaksossa maapallon muotoa varmentaa- seen Newtonin päätelmän: navoiltaan litistynyt on. Näistä vaiheista on mieleenpainuvasti kertonut Osmo Pekonen, monille teistä tuttu matemaatikko, kirjailija ja kulttuurivai- kuttaja.

Lyhimmän ajan yleisen periaatteen avulla Maupertuis, Preussin tiedeakatemian johtajaksi asti ansioitunut ranskalaisoppinut selitti mitä moninaisimpia tapahtumainkuluja, ei yksin fysiikan ilmiöitä vaan myös paljon biologiaa, talouselämän lainalaisuuksia ja jopa yhteiskunnallisia prosesseja. Tuolloin tiede ei vielä ollut särkynyt erillisiksi oppiaineiksi, eikä kaiken selittämistä pidetty huikeana saati epäuskottavana vaan luonnollisena, saavutettavissa olevana päämääränä.

Maupertuis'lle kyllä annetaan yhä kunnia yleisen periaatteen löytämisestä, mutta Maupertuis'n lain muotoa ei

enää käytetä eikä sitä opeteta. Miksei? Kysymys on sitäkin polttavampi sillä Maupertuis'n liikeyhtälö antaa juuri nuo kaikkialla ilmenevät mittakaavattomat piirteet: vinot jakaumat, jotka kertyvät sigmoidaalisesti ja siksi näyttävät logaritmi-logaritmi asteikoilla seurailevan pääosin suoria.

Universaali periaate kuitenkin hylättiin, sillä se ei vastannut ajan odotuksia luonnonlain luonteesta – eikä taida oikein vastata vieläkään.

Maailmankuva

Nykyään olemme toki tottuneet ajatukseen, ettei ihminen loppujen lopuksi poikkea muista elollisista, mutta nyt vedoten suureen samanlaisuuteen sanon, että meidän pitää hyväksyä, ettei elollinen poikkea elottomasta. Elollisen ja elottoman raja on kuin veteen piirretty viiva. Sitä kielemmekin ilmentää. Sanommehan, esimerkiksi, että puinen ovi, joka ei sovi menemään kiinni elokuussa mutta kyllä tammi- kuussa, *elää* vuodenaikain mukaan, ja toteamme, että vanha auto on *elinkaarensa* päässä.

Voi kuitenkin olla vaikeaa hyväksyä maailmankuvaa, jossa ihminen ja hänen yhteiskuntansa ja kulttuurinsa, ovat mekanismeja, joiden avulla energiaerot tasoittuvat mahdollisimman nopeasti. Niin ikään demokratia, sanavapaus, tasa- arvo, omaisuuden suoja, ovat yleisen luonnonlain mukaan tehokkaita mekanismeja, eivät itseisarvoja.

Tällainen maailmankuva ei kuitenkaan väheksy arvojamme, päinvastoin se tunnistaa niiden todellisen arvon. Kyllä kai olemme siitä yhtä mieltä, että vaalivamme arvot takaavat nyky-yhteiskunnan toiminnot. Nuo moninaiset prosessit: liikenteen, asumisen, kaupankäynnin, terveydenhuollon, koulutuksen, yms. Ne kaikki ovat yleiskäsittein ilmaistuna energiaeroja tasoittavia prosesseja.

Tietoisuus

Sittenkin saatatte aprikoida esimerkiksi, miten yleinen luonnonlaki mieltää ihmiselle niin ilmeisen tietoisuuden tai filosofisen kysymyksen vapaasta tahdosta.

Jokainen koiranomistaja on vakuuttunut, että hänen piskillä on tietoisuutta ja tahtoa. Tietoisuus on määrillinen, ei laadullinen, ominaisuus. Eikä ominaisuus ole vain eläinten. Valtiokin keräävät tietoa yhteiskunnan tilasta ja ympäröivien yhteiskuntien tiloista, ollakseen tietoisia, miten kulloinkin tulisi toimia. Niin ikään elimistön jokainen solu on tietoinen tilastaan ja ympäröivien solujen tiloista. Elektronikin on vuorovaikutustensa eli *energiavirtojen* kautta tietoinen ympäristöstään, tietäen kiertävänsä ydintä tai tietäen etenevänsä metallijohteessa sähkökentän suuntaan. Tietoisuuden prosessit ovat kaikkialla, vaihdellen vain määrällisesti, eivät laadullisesti.

Kysymys vapaasta tahdosta, kuten moni muukin syvällinen kysymys, kuvastaa myös odotuksiamme vastauksesta. Kaikenkattava teoria pitää vapaata tahtoa olevaiseen sidotuna, ei abstraktina käsitteenä. Sen mukaan vapaata tahtoa on sen verran kuin on vapaata energiaa eli voimaa käytettäväksi tahdon toteuttamiseen. Esimerkiksi aamupalastani

saaman vapaan energian turvin voin hyvin rahoittaa tällaisen, teille kertamani ajattelun, mutta voimavarani eli tahtoni eivät riitä lähellekään siihen, että te hyväksyisitte sanomani.

Loogisesti päätellen se, jolla ei ole vapautta toteuttaa tahtoaan esimerkiksi tyrmään teljetynä, ei ole juurikaan vapaata tahtoa. Vastaavasti se, jolla on käytössään suuri toimivalta eli paljon vapaata energiaa, on suuri toimintavapaus tulevan suhteen – ja vastuu toimistaan. Sen suuremmin filosofoimatta, vaistonvaraisesti ymmärrämme kysymyksen vapaasta tahdosta täsmälleen näin, sillä sanommehan, ettei naurisvarasta hirtetä. Hänellähän ei ole nälässään vaihtoehtoja eli vapaata tahtoa tehdä toisin.

Elämä

Kokonaisvaltainen maailmankuva antaa aineksia monien kysymysten tarkasteluun. Esimerkiksi, kysymys elämän synnystä ei ole mielekäs, kun ei ole rajaa elävän ja elottoman välillä. Näin nähtynä Marsissa *han* on elämää, sillä sen hiilidioksidijäästä muodostuneet napalakit elävät vuodenaikain mukaan kuten elävät maapallonkin jäiset napalakit. Elollisiksi kutsumamme prosessit ovat vain edenneet täällä paljon pidemmälle kuin Mars-planeetalla tasoittaessaan energiaeroja auringonvalon sisältämän energian ja aineeseen kemiallisesti sitoutuneen energian välillä. Kehitys on edennyt paljon pidemmälle ja laveammalle, koska täällä on Marsia olennaisesti runsaammin sellaisia aineisosa, kuten vettä ja hiiltä, joiden turvin auringonsäteilyn energiaa voidaan vastaanottaa. Tuo energiaero säteilyn ja aineen välillä on ajanut lehtivihreän kehittymiseen ja nyttemmin kannustaa aurinkopaneelien valmistamiseen. Aikain kuluessa biosfääri on päässyt paljolti tasapainoon ympäristönsä energialähteiden kanssa. Nyt antroposfääri, tuo ihmisen toiminnan globaali piiri tavoittelee sitä samaa tehostaessaan raaka-aineiden kierrätystä uusiutuvien energialähteiden turvin.

Kokonaisvaltaisen ajattelun avulla voimme ymmärtää esimerkiksi myös sen, miksi luonnossa esiintyvät aminohapot, valkuaisaineiden rakennuspalikat, ovat kemialliselta rakenteeltaan samankäisiä eli homokiraalisia. Tämä molekulaarinen standardi ei ole sen kummempi standardi kuin se, että kättelemme aina oikealla kädellä, paitsi partiolaiset, tai se, että ajamme oikealla puolella tietä, paitsi britit. Standardisoinnin myötä energiaerot tasoittuvat nopeammin, ja standardisoinnin hyödyt ovat sitä suuremmat mitä suurempaa ja tiiviimpää yhteiselo on. Sen takia kaikkien on hyvä palauttaa käytön jälkeen yhteiset tavarat paikoilleen. Ja sen takia EU-direktiivit edellyttävät suoraa kurkkua ja tervaa-mattomia puuveneitä, yms. Nämä järjettömimmät normit paljastavat meille, että standardisoinnin, ollakseen oikeutettua, tulee palvella energiaerojen mahdollisimman nopeaa tasoittumista. Olisi järjetöntä haaskata kurkkua vain sen takia, että ovat vähän vääriä, ja olisi järjetöntä olla tervaa-matta venettä ja pusata uusi pursi joka talvi.

Kun ihmisen perimä tässä taannoin selvitettiin, oli yllätys, että siitä vain n. 2 % on geenejä. Valtaosa on muuta: aikain kuluessa rikkoutuneita geenejä, viruksien perimää, parasittejä yms., mutta myös silkkaa roskaa, ts. DNA-juostetta vailla minkäänlaista merkitystä tai viitettä alkupe-
räästä. Miksi sitä kuitenkin on?

Kokonaisvaltaisen maailmankuvan mukaan tuman suojassa oleva perimän aines on yhtä tarpeellinen ja tarpeeton kuin vajan suojassa olevat polkupyörät, sukset, kottikärryt kuin myös käyttämättöminä kertyneet vanhat, miksei uudetkin vaatteet, tavarat ja rakennustarvikkeet, rikkoutuneet koneiden osat, yms. Ne kyllä joutaisivat poiskein heitettäväksi, mutta toisinaan niistä saattaisi olla hyötyä matonkuteina, leikkimökkiä rakennettaessa tai jotain pientä askarrella tai korjatessa. Pidämme kaiken kertyneen kun siihen on vain varaa. Perimämme tilastollinen jakauma tarpeellista tarpeettomaan ei poikkea siitä mitä vajastamme löytyy tai mitä yhteiskunnassammekin on. Tehtävänsä, vaikkapa vain vähäinen, on kullakin tilaisuuden tullen.

Tässä vaiheessa luentoani olette varmasti havahtuneet huomaan kuinka rikas nyky-yhteiskuntamme kaikesta huolimatta onkaan, kun sillä on varaa elättää ainakin yksi professori puhumaan kaikesta. Ei yhteiskunta kuitenkaan hyvää hyvyttään ruoki vaan odottaa vastinetta, uutta ajattelua, jotta vastaisuudessa pärjäisimme paremmin. Olen täällä ottamassa selvää: Pidätkö kokonaisvaltaista ajattelua oikeana? Voisitko ajatella samoin? Ja jos, niin mitä siitä sitten hyötyisitte? Käsittäisitkö maailmaa helpommin?

Nukkumisesta

On myös monia yksityiskohtaisia, pitkään valvottaneita kysymyksiä. Esimerkiksi, miksi nukumme niin kuin nukumme: huomattavan osan vuorokaudesta ja kunkin yön aikana syvää unta ja unennäköä vuorotellen. Jälleen kerran yleinen luonnonlaki vakuuttaa, että nukkumisen syy on sama kuin mikä tahansa muukin prosessin syy: *Palauttaa järjestelmä mahdollisimman nopeasti tasapainoon.*

Hermoverkkomme rakentaminen ja korjaaminen on periaatteeltaan samaa kuin tieverkon rakentaminen ja korjaaminen. Yhteys ei ole käytettävissä, kun sitä vielä muodostetaan tai paikataan. Pitkäkestoinen työ tehdään mieluiten yöaikaan elintärkeää liikennettä haittaamatta. Yhtälailla hermoverkkomme kuin tieverkko joutuu epätasapainoon välittäessään päivän hektistä trafiikkia. Ennen muuta tarvitaan syvää matalataajuista eli pitkän aallonpituuden unta uudistamaan ja muodostamaan pitkän kantaman yhteyksiä. Niinpä hyvin nukutun yön jälkeen päivällä kertyneiden asioiden väliset yhteydet kirkastuvat. Useinhan juuri asioiden väliset yhteydet osoittautuvat itse asioita merkityksellisemmiksi. Yhteyden aukaiseminen vapauttaa voimavarjoja, kuten vapauttaa rajakaupunkien välisen yhteydenpidon avaaminen.

Taloudesta

Nykyajalle on tunnusomaista alituinen puhe taloudesta. Hyvästä syystä. Ennen puhuttiin enemmän siitä, millaisia ilmoja on pidellyt. Hyvästä syystä silloinkin. Maatalousyhteiskunnan toimeentulo riippui paljolti säästä, nyky-yhteiskunnan suhdanteista. Periaate on sama. Kehitystä kuvaillaan talouden ja biologian yhtenevien käsittein. Innovaatiot ja kilpailu jouduttavat talouskasvua samalla tavoin kuin elinkelpoiset mutaatiot ja keskinäinen kilpailu kiihdyttävät lajien kehitystä.

On kuitenkin on syytä kysyä, mikä oikeastaan on tuo Adam Smithin kuvailema ”näkömätön käsi”, joka ohjaa yksilöiden omanedun tavoittelun myös yhteiseksi eduksi? Vastaavasti on syytä tivata, mitä itseasiassa on tuo Charles Darwinin kuvailema luonnonvalinta, joka ohjaa evoluutiota liittäen lukuisat, kilpailevatkin lajit yhtenäiseksi, symbiootiseksi biosfääriksi?

Elämän ja talouselämän samankaltaisuus on sananmuukaista. Ajatus ei siis ole uusi. Itse Darwin sai välähdyksenomaisesti idean eloonjäämiskamppailusta lukiessaan Thomas Malthusin kirjaa. Samanhenkisiä aikalaisia oli jo kotikulmillakin. Antti Chydeniusta tunnetuimmiksi tulivat myöhemmin David Ricardo ja Adam Smith, jotka niin ikään ihmettelivät, mistä prosessista pohjimmitaan oli kyse varhais-teollistuvassa Englannissa.

Nyt tiedämme: luonnon prosessista. Kaikki luonnon prosessit etenevät sigmoidaalisesti kohti logaritminormaalista tasapainojakaumia tuottaen rakenteellisesti-toiminnallista hierarkiaa, niin yksilöistä yhteiskuntiin kuin molekyyleistä soluihin tai tähdistä galakseihin. Tuolloin 1700-luvun lopulta alkanut nopean kasvun pyrähdys uusiutumattomien energialähteiden turvin on tuottanut lyhyessä ajassa mitä moninaisimpia muotoja, joista jo monet ovat painuneet unhoon tai päätyneet museoiden hyllyille kuin Burgessin liuskeen kambrisen kauden moninaiset fossiilit konsanaan.

Tuo varhaisten eliöiden satumainen moninaisuus kehittyi ja kaventuikin nopeasti vuorovaikutusverkostojen tiivisyssä tehokkaaksi toiminnallisuudeksi. Aivan kuten meneillään oleva maailmantalouden integraatio ohjaa nopeasti moninaiset aineen virrat ripeisiin väyliin ja kustannustehokkaisuuteen tuotantolinjastoihin. Tässäkö, vapaan energian mahdollisimman nopeassa kulutuksessa, ilmenee se ihmiselle niin ainutlaatuisena pitämämme järki ja toimiensa tarkoituksenmukaisuus?

On helppo osoittaa, että talouselämän tunnetuimmat lainalaisuudet, kuten kysynnän ja tarjonnan laki sekä vähenevien voittojen laki ilmentävät yleistä liikelakia. On vain ilmaistava taloudentekijät, raaka-aineet, tuotteet, koneet, työvoima, yms., yhteismittaisin eli universaalein käsittein.

Informaatiosta

Nykyään korostetaan informaation merkitystä, mutta mitä on informaatio. *In forma* tarkoittaa sananmukaisesti muodossa olevaa, esimerkiksi sokerin muodossa olevaa energiaa. Sokerin polttamiseksi ympärillä oleva happi on tietysti

välttämätön, sillä ei sokeriin eikä happeen itsessään liity energiaeroa vaan liikettä ajava voima vallitse niiden välillä.

Aivan vastaavasti kohinalla tai tyhjänpuhumisella ei ole merkitystä, koska sen sisältämä energia ei poikkea ympäristön keskimääräisestä energiasta, tavallisesta puheesta. On sanottava jotakin viisasta – tai todella tyhmää, jotta viesti erottuisi tavanomaisesta. Jollei ole tuota energiaeroa ympäristöön nähden, sanomalla ei ole voimaa.

Kun informaatio ymmärretään energiaerona eli voimana, käy ymmärrettäväksi että informaatio on, missä hyvänsä muodossa, aito elämisen edellytys siinä missä sokeri ja happi ovat. Informaatio on fyysistä, savitauluista sähköisiin tallenteisiin. Tämä ilmenee myös siten, informaation esitysmuotojen, kuten lauseiden, sanojen ja kirjaimien taajuusjakaumat ovat vinoja aivan kuten mitkä tahansa muutkin luonnonjakaumat geeneistä galakseihin.

Ehkäpä me myös mittaamme mitä moninaisten viestien merkityksiä viimekädessä viestin myötä vapautettavissa olevana energiana. Ensi kuulemalta ajatus saattaa tuntua huikealta yksinkertaistukselta, mutta uusi se ei ainakaan ole. Ihmisen käyttäytymisen yhteyttä luonnon lainalaisuuksiin etsi mm. John von Neumann, unkarilaissyntyinen, poikkeuksellisen monipuolinen tiedemies. Hän loi fysikaalisen perustan peliteorialle käyttäytymisen mallina.

Maailmankuva, jossa ihminen ei ole periaatteessa toisenlainen kuin mikään muukaan luontokappale, seuraa siitä, että fysiikan peruskäsitteet eivät ole yksinkertaistuksia vaan täsmällisiä, sisältäen kaiken mitä on.

Sittemmin biologit ja taloustieteilijät omaksuivat tätä ajattelua. Muun muassa Nobel-palkittu Paul A. Samuelson ymmärsi talouden tapahtumat kemiallisten reaktioiden kaltaisina. Niin ikään John Nash, Nobel-palkittu peliteoreetikko, näki talouden tasapainotilan nimenomaan kemiallisena tasapainotilana, vaikkei hän sitä energian yleiskäsittein muotoillutkaan. Toimeliaisuus kyllä välittyy kättemme kautta, mutta käyttäytymisemme ei ole talouden syy vaan käyttäytymisemme ilmentää yleistä luonnonlakia.

Informaatio on siis kuin mikä tahansa muukin voima, joka muuttaa vastaanottimensa tilaa. Se on tämäkin puheen tarkoitus. Ei kuitenkaan ole mahdollista ennustaa, mitä kommunikaatiosta seuraa, kun energian virroille on vaihtoehtoisia reittejä. Ja niitähän päämme hermoverkon sopukoissa riittää. Ei siis ole kummallista vaan pikemminkin luonnollista, että usein vastaanottaja ymmärtää viestin, jollei nyt aivan väärin, niin ainakin puutteellisesti tai vähän toisin kuin lähettäjä oli tarkoittanut.

Kommunikaatio on kuitenkin mielekästä vain kun se on väärinymmärtämistä. Nimittäin, vastaanottaja voi ymmärtää viestin täsmälleen samoin kuin lähettäjä vain siinä tapauksessa, ettei heidän välillään ole mitään eroa. Tällöin tietysti viestissä ei myöskään ole mitään uutta vastaanottajalle. Kun kaiken käsitätte, ette tekään tätä puhetta toistamiseen kuuntele.

Kommunikaatio vähentää energiaeroja, siis erimielisyyksiä. Väittely on keino selvittää, miten asia on. Ei väittely lähtökohtaisesti ole henkilökohtaista, mutta jollei aseta itseään alttiiksi, ajatuksen arvoa ei koetella.

Determinismin kaiho

Maupertuis'n lain mukainen maailmankuva on kaikin puolin sopusoinnussa mittausten, havaintojen ja kokemuksemme kanssa, vaikkei se kaikin puolin meitä miellyttäisikään. Eräs luonnonlain piirre ei miellyttänyt ensinnäkään, kun se esiteltiin 1600- ja 1700-lukujen taitteessa. Tuolloin oli juuri opittu kuvaamaan luontoa matematiikan avulla, ennen muuta laskemaan taivaankappaleiden liikkeitä hämmästyttävän tarkasti. Odotukset olivat sen mukaiset. Liikelytälö kuin liikelytälö miellettiin muutta mutkitta keinoksi laskea tulevia tapahtumia. Determinismin tarve oli voimakas, mutta sitä kaihoa Maupertuis'n liikelytälö ei täyttänyt. Niinpä luonnonlaki sivuutettiin toiveiden vastaisena, ei totuuden vastaisena.

Totta kai haluamme tietää seurausten syyt. Onnettomuudet tutkitaan, jotta vastaavalla välttyttäisiin. Tapahtumaketjun tutkinnassa paljastuu usein, että yksi poikkeus johti seuraavaan poikkeamaan, jne. Tapahtunut vaikutti tapahtuvaan. Lopputulos riippui kuljetusta reitistä, ei yksin alkutilasta.

Kyvyttömyytemme tehdä tarkkoja ennustuksia ei siis johdu viime kädessä siitä, että jokin järjestelmä olisi liian monimutkainen tai että tietomme järjestelmästä olisivat vielä liian vajavaisia, vaan siitä että kaikki riippuu kaikesta. Matematiikan sanoin: kun liike muuttaa liikevoimia, liikelytälöä ei voida ratkaista, sillä muuttuja ei voi erotella yhtäsuuruusmerkin eri puolille.

Tämän Maupertuis'n laki sanoo täsmällisesti, mutta se totuus ennustamisen mahdottomuudesta ei miellyttänyt. Sen takia pienimmän vaikutuksen laki tunnetaan nykyään vain virheellisessä, deterministissä muodossa. Puutetta on sittemmin pyritty paikkaamaan, mm., satunnaisuudella. Luonnossa ei kuitenkaan ole mitään puhtaan sattumanvaraista, vaan kaikella on syynsä. Tapahtumia ajavat voimat. Moni voima on kyllä vähäinen ja häilyvä, johtaen siten satunnaiselta ja päämäärättömältä vaikuttavaan soutamiseen ja huopaamiseen, mutta satunnaista ei mikään ole.

Nykyfysiikan pulmista

Vaikkei yleisen luonnonlain liikelytälöä voida yleisesti ratkaista, sen paikkansapitävyys voidaan kuitenkin tutkia tarkasti. Vakuudeksi kerron, miten Maupertuis selittäisi muuttamia nykyfysiikan ongelmalliseksi kokemia havaintoja. Eriyisesti niitä, joista on ollut paljon puhetta: sellaisia hämähäviä käsitteitä kuten pimeää energiaa ja pimeää aineä sekä nk. Higgsin mekanismi, joka antaa hiukkasille massat.

Pimeä energia

Todisteena pimeästä energiasta pidetään sitä, että kaukaiset supernovat leimahtavat himmeämpinä kuin niiden etäisyyden perusteella yleisen suhteellisuusteorian mukaan pitäisi loistaa. Räjähätäneen tähden kirkkaus vähenee eli magnitudi muuttuu nopeammin kuin etäisyydestä kielivä valon väri eli taajuus siirtyy punaiselle. Havaintoaineisto ei siis seuraa yhtä suoraa vaan kaartuu kaukaisuudessa. Kaartumisesta on tehty sellainen johtopäätös, että avaruus laajenee kiihtyen toistaiseksi tuntemattoman pimeän energian turvin.

Yleisen luonnonlain 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 kaukaisesta räjähdyksestä kohti meitä.

Kuvaus vastaa täsmälleen sitä, kun sireenin ääni vaimeenee ja madaltuu ambulanssin loitotessa. Kun valon 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 aineistoon vaan seuraus, kun maailmankaikkeuden ikä on 13.8 miljardia vuotta. Sellaisenaan se selittää havainnot ilman pimeää energiaa.

Kuvaus vastaa täsmälleen sitä, kun sireenin ääni vaimeenee ja madaltuu ambulanssin loitotessa. Kun valon 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 aineistoon vaan seuraus, kun maailmankaikkeuden ikä on 13.8 miljardia vuotta. Sellaisenaan se selittää havainnot ilman pimeää energiaa.

Vanhan luonnonlain mukaan maailmankaikkeus laajenee, ei alkupaukun sinkoamana vaan yhä edelleen mahdollisimman nopeasti tasapainoa tavoitellen, koska tähdet, mustat aukot ja monet muut mekanismit, mukaan lukien myös itsemme, pilkkovat aineeseen sidotut kvantit vapaiksi tyhjiön täyttäviksi fotoneiksi.

Pimeä aine

Todisteena pimeästä aineesta pidetään puolestaan mm. sitä, että kaukaisten galaksien takaa tuleva valonsäde taipuu enemmän, liki viisi kertaa enemmän kuin yleisen suhteellisuusteorian mukaan galaksin tähtien painovoiman pitäisi muuttaa valon suuntaan.

Lyhimmän ajan lain mukaan valo etenee galaksia sivuutessaan kuten valitessaan reittinsä kulkiessaan ilmasta veden. Näin laskettuna valonsäde taipuu liki viisi kertaa enemmän kuin yleisen suhteellisuusteorian mukaan sen pitäisi taipua. Joten vanha luonnonlaki ei kaipaa pimeää ainetta selittämään valon taipumista.

Totta kai teitä nyt ihmetyttää, eikä yleisen luonnonlain mukaan kaukaisesta tähdessä tulevan valonsäteiden sitten pitäisi taipua auringon pintaa viistäessään paljon enemmän kuin on havaittu ja suhteellisuusteorian mukaan laskettu? Tuon vaikean, täydellisen auringonpimennyksen aikaan tehtävän mittauksen teki ensimmäisenä Sir Arthur Eddington vuonna 1919. Nykyään auringon painovoiman vaikutus fotonien kulkuun mitataan tarkemmin siitä, kuinka paljon radiosignaali viivästyy matkallaan Venukseen ja takaisin sivutessaan aurinkoa. Vanha laki antaa oikean tuloksen 195 mikrosekuntia. Kuten tunnettua yleinen suhteellisuusteoria antaa saman oikean tuloksen, mutta laskettuna eri yhtälös-

tä kuin se, josta laskee valonsäteiden taipumisen. Eikö ole outoa, että suhteellisuusteoria tarvitsee kahta eri yhtälöä saman ilmiön, fotonien kulun kuvaukseen?

On olennaista huomata, etteivät kaukaisesta tähdessä yhdensuuntaisina saapuvat säteet gravitaatiolinssin läpi kuljettuaan saavu samaan kohtaan kuin yötaivaalta tullessaan. Jollei tätä ota huomioon suuntaissiirtymänä, taipuma tulee mitatuksi liian pienenä.

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

Vanhan luonnonlain mukaan tähtijärjestelmä, kuten puron pyörre, on osapuilleen tasapainossa ympäristönsä, siis koko muun maailmankaikkeuden kanssa. Siksi vetykaasumolekyylit kiertäessään kaukana galaksin hohtavasta reunasta kokee koko galaksin aiheuttaman kiihtyvyyden lisäksi koko maailmankaikkeuden massasta aiheutuvan kiihtyvyyden, ts. $a = v^2/r = c^2/R$. Joten galaksi pyörii koko maailmankaikkeuden painovoimakentässä aivan samoin kuin pyörremyrsky pyörii lämpötilaeron voimakentässä. Tuo 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 kaipaa pimeää ainetta selittämään näitäkin havaintoja, eikä suhteellisuusteorian käsitteellisiä kummallisuuksia. Esimerkiksi, ei siinä mitään kummallista ole, että kello käy ullakolla hitusen nopeammin kuin kellarissa. Ullakolla kellon energialähteen ja ympäristön energiatiheyden eli painovoimakentän välinen energiaero on kellaria suurempi. Nopeampi käynti on yhtä tuttua kuin se, että lämpöä karkaa sitä nopeammin kuta kylmempää ulkona on. On rauhoittavaa huomata, että maailma on kaikilta kulmiltaan arkikokemuksen mukainen.

Newtonin liikelaki

Moni muukin uusi havainto selittyy yksinkertaisesti vanhan luonnonlain avulla. Uutukaista arvokkaampaa on kuitenkin vanha viisaus. Jo Maupertuis ymmärsi, että lyhimmän ajan yleinen laki on täsmälleen Newtonin 2. liikelaki. Tästä seikasta voimme itsekin varmistua saman tien, sillä kaikkihan tuntevat Newtonin 2. liikelain. Vai tuntevatko?

En tarkoita, että tenttaisin teitä, vaan kun kysyn opiskelijoiltani, vastaus tulee kuin apteekin hyllyiltä: $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. Newton itse ei kuitenkaan näin voimaa määritellyt, vaan sanoi voiman aiheuttavan liikemäärän \mathbf{p} muutoksen. Liikemäärän $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ muutos sisältää ei yhtä vaan kaksi termiä: hokemaksi asti tutun nopeuden muutoksen eli kiihtyvyyden $m\mathbf{a}$ lisäksi jokaiseen tilamuutokseen liittyy erottomasti myös massan

muutos $vd_t m$. Se tarkoittaa Albert Einsteinin kuuluisaksi tekemän relaation $dm = dE/c^2$ avulla, energian virtaa eli dissipaatiota järjestelmästä ympäristöön tai päinvastoin. Jos massan muutos jätetään pois, kuten meille opetetaan, ei yhtälö $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ kuvaa edes yksinkertaista kemiallista reaktiota, jossa aina joko sitoutuu tai vapautuu lämpöä. Ei siis ole ihme, että nykyfysiikka vaikuttaa jotenkin kyvyttömältä kuvamaan elollista siis sitä kaikkea, joka liikkuu tilasta toiseen.

Maupertuis siis tajusi, että hänen löytämänsä laki oli jo löydetty. Se saadaan kertomalla Newtonin voiman määritelmä $\mathbf{F} = d_t \mathbf{p}$ nopeudella \mathbf{v} , ja sitten tunnistamalla liikeyhtälön $d_t(mv^2) = -\mathbf{v} \cdot \nabla U + v^2 d_t m$ yhtäsuuruusmerkin vasemmalta puolelta liike-energian eli *vis vivan* eli elävän voiman mv^2 muutos, kuten Leibniz termin tunki, ja oikealta ensimmäiseksi kiihtyvyyteen \mathbf{a} liittyvän suunnatun potentiaalienergian gradientin $-\mathbf{v} \cdot \nabla U$ eli *vis mortuan* eli kuolleen voiman muutos ja toiseksi jokaiseen tilamuutokseen erottomasti liittyvä massan muutos eli energian virta 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 hevostäpää törmää tiellä toisiinsa. Ja [hän] päättelee aivan oikein, että ainakin osa liike-energiasta häviää ympäristöön, mikä ilmenee mm. kaikenlaisena voivotteluna ja valitteluna.

Niin ... Châtelet piti opettajaansa Maupertuis'ta jonkin aikaa rakastajanaan ja jatkoi kirjeenvaihtoa tämän kanssa vielä senkin jälkeen, kun oli uudelleen sulkenut suosionsa Voltairen. Ehkei Voltaire oikein ymmärtänyt kirjeenvaihdon luonnetta sekaantuessaan skismaan yleisen luonnonlain löytäjästä tukien akateemikko Samuel Königiä, niin ikään aikanaan Émilien opettajaa, kirjoittamalla ilkeämielisen pamfletin Maupertuis'ta. Kaiketi du Châtelet'n markiisitar olisi vielä sotkun selvittänytkin, mutta kun hän oli jo vuosia aiemmin kuollut synnytyksen jälkeiseen komplikaatioon. Silloin Émilie oli jo Voltairensa lempannut ja ottanut uuden rakastajan.

Fysiikka on ihmisten kirjoittama oppiaine, intuition ja tunteen sävyttämää. Mistä Newton sai ideansa ja lakinsa? Hänen itsensä sanoin: *Jos olen nähnyt muita kauemmas, se johtuu siitä, että olen seissyt jättiläisten harteilla*. Keitä olivat nuo Newtonin tarkoittamat jättiläiset? Ainakin Galileo Galilei, joka välitti Newtonille antiikin atomisten ajattelun. Niinpä Newton piti valoa ja ainetta loppujen lopuksi yhtenä ja samana. Kuinka sopivaa. Kaikki on pohjimmiltaan yhtä ja samaa, ja siksi noudattaa yhtä ja samaa luonnonlakia. Meidänkin on ymmärrettävä olevainen ytimiään myöten, muutoin kalvaa epäily, että alkeishiukkasissa olisi jotakin outoa ja käsittämätöntä.

Perusosanen

Nykyfysiikka etsii olevaisen perustaa särkemällä ainetta osasikseen. Kuten tiedätte: ensin hiukkasia kiihdytetään liki valonnopeuteen ja sitten ne ajetaan toisiaan päin. Merkkillistä, mutta mitä kovempaa kolaroidaan, sitä enemmän hiukkasia siunaantuu. Aine ei ota hajotukseen enempää vaan uutta syntyy iskusta. Jos olevainen todella koostuisi alkeishiukkasten kirjosta, eikä vain yksistä ja samoista perusosista, miten ihmeessä kaiken teoria voisi olla eheä ja yksinkertainen?

Antiikin ajattelijat tiesivät meitä vähemmän, mutta ymmärsivätkö he meitä enemmän? Demokritos ja oppi-isänsä Leukippos perustelivat, että kaikki aine rakentuu katoamatomista, jakamattomista ja alati liikkeessä olevista osasista. Jo aiemmin Parmenides oli päätellyt, että myös tyhjiö koostuu perusosista.

Mutta miksi nämä, ennen Sokratesia eläneet, kreikkalaisfilosofit päätyivät jakamattomuuden ideaan? Ehkäpä he vain tarkastelivat vastakkaista väitettä. Jos kaikki, mitä on, olisi loputtomasti jaettavissa yhä pienempiin ja pienempiin osasiin, niin loppujen lopuksi ei voisi olla lainkaan eroa yhden eikä toisen välillä. Maailma ei kuitenkaan näytä tällaiselta. Kun kerta vedellä on rajapintansa, on perusosaseläkin oltava jakamaton mittansa.

Perusosasta Demokritos kutsui, kuten tiedätte, nimellä *atomos*, kirjaimellisesti jakamaton. Kuten tunnettua, 1800-luvun alkupuolella tuo osuva sana tuli tarkoitamaan alkuaineen kemiallisesti pienintä osaa, mutta joka pian paljastui jaolliseksi ytimeen ja sitä verhoaviin elektroneihin. Ydinkin osoittautui jaolliseksi protoneihin ja neutroneihin, ja nekin sitten vielä jaolliseksi kvarkkeihin ja niitä toisiinsa sitoviin liimahiukkasiin, nk., gluoneihin. Niinpä jakamattomuuden käsitteelle tarvittiin uusi nimi, kvantti. Täsmällisesti ottaen perusosasta tulisi sanoa *vaikutuskvantiksi* erotukseksi määräsuuruudesta annoksesta eli kvantista, esimerkiksi energiaa.

Valokvantti eli fotoni on meille tuttu. Silmämme verkkokalvo on kyllin herkkä rekisteröimään yhdenkin fotonin, vaikkei yksi riitä aistimukseen. On siis luontevaa ja yksinkertaistakin otaksua, että kaikki oleva koostuu fotoneista. Onko todella näin?

Kokemuksesta tiedämme, että valo ja lämpöä vapautuu kemiallisissa prosesseissa, vaikkapa hellapuiden polttelussa. Mittauksista tiedämme, että jokaisessa kemiallisessa reaktiossa joko sitoutuu tai vapautuu vähintään yksi fotoni silmälle näkyvänä valona tai energialtaan matalampana iholla tuntuvana lämpösäteilynä. Niin ikään ydinreaktiossa fotoneita joko sitoutuu tai vapautuu. Vakuuttavimmin fotoneista kaiken peruspalikoina puolesta puhuu ilmiö, jossa elektroni tuhoutuu yhdessä vastahiukkasensa, positronin kanssa pelkiksi fotoneiksi. Tuo annihilaatio-reaktio voidaan ajaa myös vastakkaiseen suuntaan voimakkaan laservalon voimin. Silloin fotoneista sukeutuu ainetta, elektroneja ja positroneja. Myös salamoinnin energia riittää muodostamaan materia-antimateria hiukkaspareja.

Sittenkin arvelen, että ajatus fotoneista kaiken ja niimenomaan tyhjiön perusosana epäilyttää teitä. Emmehän esimerkiksi näe valoa vapautuvan emmekä tunne lämpöä karkaavan, kun vaikkapa kivi putoaa. Voi tietysti aiheellisesti epäillä, että sillä tavoin heltiävien fotoneiden energia on aivan liian matala jopa herkimpien ilmaisimien rekisteröitäviksi.

Järkeilkäämme. Kun kivi nostetaan takaisin ylös, putoamisreaktio etenee vastakkaiseen suuntaan, aivan kuten kemiallista reaktiota voidaan ajaa vastakkaiseen suuntaan. Tämän työn teen syömäni ruuan turvin. Ruoka, tuo kemiallinen polttoaine, on loppujen lopuksi tuotettu auringonvalolla siis fotoneilla. Looginen johtopäätöksemme täytyy olla, että kun kerta kiveä nostettaessa fotoneita sitoutuu, niin kiven pudotessa niitä vapautuu.

Fotoneita vapautuu pareittain siten että valo-aallot ovat vastakkaisissa vaiheissa. Kun yhden aallon huippu ja toisen aallon pohja menevät vastakkain emme näe valoa. Fotonit eivät kuitenkaan häviä mihinkään vaan jatkavat kulkuaan. Siksi avaruus on musta vaikka tyhjiö onkin täynnä fotoneita.

Näinkin, mutta varmasti tahdotte myös tietää, kuinka monesta fotonista elektroni, protoni, neutroni ja niiden osaset eli kvarkit koostuvat. Ettekä pelkästään tietää lukumääriä vaan vaaditte seikkaperäisen selvityksen siitä, miten elektronin, protonin ja neutronin, miksei yhtäläillä monen muunkin hiukkasen, ominaisuudet juontuvat jostakin joulukosta fotoneista. Sitä ennen on paikallaan palauttaa mieleen, mitä itse fotonista tiedetään.

Fotoni

Fotonilla, tuolla luonnon peruspalikalla on vakio mitta. Siihen Max Planck, saksalainen fyysikko, kopsahti 1800- ja 1900-lukujen taitteessa. Matemaattinen malli valon spektristä, tuosta värien koko kirjosta, täsmäsi mittaustuloksiin vasta, kun Planck epätoivoisena ajatuksenaan oletti, ettei kuuman kappaleen säteilemä valo ollutkaan jatkuvaa vaan energialtaan määrämittaista, kvantittunutta. Merkkillistä, mutta kiistatonta, energian (E) ja ajan (t) tulolla, ei ole mitään tahansa lukuarvoa, vaan se on aina Planckin vakion moninkerta.

Planck ei arkaillut eikä aikaillut vaan julkisti odottamattoman tuloksen, vieläpä vilpittömästi tunnustaen, ettei käsittänyt sen syvällistä syytä. Eipä käsittänyt moni mukaan. Niinpä luonnonvakio yhä merkitään oppikirjoissa ikään kuin vain verrannollisuuskertoimena (h) yhtälössä ($E = hf$), joka sitoo energian valon väriin eli taajuuteen ($f = 1/t$), jaksoneajan käänteislukuun. Näin kirjoitettuna luonnonvakiota (h) ei miellä fotonin mitaksi, eikä myöskään käsitä, että energia ja jaksonaika ovat perusosan ominaisuuksia, eivät itsellään mitään.

Sen kyllä käsittää kirjoitta ja kaavoitta, että energia on aina jossakin polttoaineessa kiinni, ei ilkosillaan. Niin on energia kiinni fotoneissa, tuossa kasvien polttoaineessa. Valokvanttia ei voi mitenkään hävittää tai luoda tyhjästä, mutta sen energia voi muuttua ja muuttuukin kunhan jak-

sonaika muuttuu vastaavasti siten, että mitta (h) säilyy vakiona.

Luonnonvakion lukuarvo ($h \approx 6.626 \cdot 10^{-34}$ Js) on eittä-mättä tavattoman pieni kansainvälisen standardin mukaisissa yksiköissä, jouleina ja sekunteina. Se ei kuitenkaan tarkoita, että kaikki kvantit olisivat huimasti alle arkipäiväisen kokemuspierimme. Ultravioletti säteily polttaa ihon, infra-puna lämmittää.

Kuten tunnettua vuonna 1905 Albert Einstein esitti ajatuksen valokvantista selittäessään, miksei mikään valon voimakkuus riitä vaan vasta energialtaan kyllin suuri fotonisuistaa metallin pinnalla pyörivät elektronit radoiltaan. Selitys alleviivasi fotonin vakioista mittaa. Jyvämäistä tulkintaan moni ei kuitenkaan niellyt, se jäi hampaankoloon. Vastahan oli juhlistu James Maxwellin, skotlantilaisfysiikan teoriaa, joka selitti valon, sähköön ja magnetismin yhden ja saman aallon, ei suinkaan jonkin hiukkasen, ilmentymiksi. Einsteinin oivallus muistutti Isaac Newtonin aikoinaan vaikutusvaltaista, mutta sittemmin erheelliseksi tuomittua valohiukkasen ajatusta. Tästä profeetan kerettäläisyydestä oli vain vai-voin vapauduttu. Kun Einstein vihdoon vuonna 1921 palkittiin Nobelilla tuon, nk., valosähköisen ilmiön selityksestä, oli jo kosolti näyttöä luonnon kvantittuneesta olemuksesta.

Aineen rakenne

Kaikki virtaa, mikään ei pysy paikallaan. Näin Herakleitos tavoitti todellisuuden luonteen. Kun miellämme samoin fotonin ratana, jolla energia virtaa, käsitämme myös millainen elektroni on, fotoneista muodostuvana ratana, tai millainen protoni on, tai mikä tahansa muu hiukkanen, fotoneista muodostuvana ratana. Saattaa tietysti vaikuttaa uskomattomalta, että näin vain voisin luennoida teille alkeishiukkasista, muttei kenenkään ole syytä aliarvioida käsityskykyään vain sillä verukkeella, että teoreettinen alkeishiukkasfysiikka mielletään vaativaksi oppiaineeksi.

André-Marie Ampère'n, 1700- ja 1800-lukujen taitteessa vaikuttaneen ranskalaisfysiikan nimi on tuttu sähkövirran yksiköstä, ampeerista. Aikana ennen automaattisulakkeita sähkökaapissa oli tapana pitää varalla tällaisia 10 A sulakkeita. Ampère ajatteli, että sähkövirtaa kuljettavat alkeisvaraukset, elektronit. Niin ajattelemme yhä. Ampère ajatteli myös, että elektroni on kuin donitsi, toruksen muotoon käämitty johdinsilmukka. Hän oli kokeilemalla huomannut, että tällaisella virtasilmukalla, aivan kuten elektronilla, on sähkövaraus ja magneettinen momentti. Niinpä nyt kysymme, kuinka monta fotonia muodostaa elektronin toroidialisen silmukan?

Vastataksemme riittää, että tunnemme nk. hienorakenteen vakion arvon. Tämä luonnonvakio vertaa elektronia Planckin vakioon, siis donitsin isoa kehää yhteen pieneen silmukkaan. Kierteisen radan nousun takia, yksi foton ei aivan riitä yhden pienen silmukan matkalle, vaan täysi ympyrä jää hieman vajaaksi. Lukuarvon perusteella 137 silmukan matkalla vajausta kertyy täsmälleen yhden fotonin verran. Siispä elektroni koostuu 138 valokvantista.

Voimme olla varmoja Ampère'n esittämän rakenteen oikeellisuudesta, sillä siitä lasketut sähkövaraus eli silmukoiden lukumäärä, magneettinen momentti eli toruksen suunnattu kokonaispinta-ala ja massa eli suunnattu kaarevuus, vastaavat elektronin tunnettua varausta, magneettista momenttia ja massaa. Luonnollisesti elektronin vastahiukkanen eli positroni on niin ikään torus, mutta vastakkaiseen suuntaan kiertynyt. Siksi positronin massa on yhtä suuri kuin elektronin mutta varaus ja magneettinen momentti ovat vastakkaismerkkisiä.

Nyt kun tunnemme elektronin rakenteen, on helppo päätellä atomiytimen osasten: protonin ja neutronin rakenteet. Tiedetään, että protoni koostuu yhdestä alas-kvarkista ja kahdesta ylös-kvarkista. Alas-kvarkin $-1/3$ varaus kertoo, että se on $1/3$ elektronin donitsista. Vastaavasti ylöskvarkin $+2/3$ varaus tarkoittaa, että se on $2/3$ positronin donitsista. Torus-kaaret liittyvät toisiinsa liimahiukkasien eli gluonien. Ne ovat fotoneita. Näin muodostuu tetraedrarakente.

Vastaavasti tiedetään, että neutroni koostuu kahdesta alas-kvarkista ja yhdestä ylös-kvarkista. Jälleen voimme olla varmoja rakenteiden oikeellisuudesta, sillä niistä lasketut sähkövaraukset eli silmukoiden suunnattu lukumäärä, magneettiset momentit eli suunnatut kokonaispinta-alat ja massat eli geodeettiset kaarevuudet, vastaavat protonin ja neutronin tunnettuja varauksia, magneettisia momentteja ja massoja.

Kuvia katsomalla on vaikea hahmottaa alkeishiukkasien kolmiulotteista geometriaa, mutta Clas Ohlsonilta ostin tällaisia elektronin ja positronin sekä protonin ja neutronin malleja. Laitan ne nyt kiertämään, jotta edes jokunen teistä saa pidellä alkeishiukkasfysiikkaa näpeissänne. Mallien avulla voitte myös helposti havainnollistaa ydinreaktiota, esimerkiksi elektronin kaappausta, jossa protoni muuttuu neutroniksi. Tapahtumassa elektroni tulee lähelle protonia. Tällöin elektroni annihiloituu osittain, $2/3$ verran protonin ylös-kvarkin kanssa, jolloin jäljelle jää vain $1/3$ elektronin toruksesta eli alas-kvarkki. Tuloksena on siis neutroni.

Tapahtumassa elektronin toruksen on tietysti ensin auettava reagoidakseen ylös-kvarkin kanssa. Avautumisen käynnistää neutriino, joka annihiloituu yhden pienen silmukan kanssa. Auennut torus on nk., W^- välibosoni.

Massa

Tässä kohtaa onkin luontevaa katsoa, miltä Higgsin hiukkanen näyttää. CERNissä tehtyjen kokeiden perusteella tiedetään, että Higgsin hiukkanen on kauniin symmetrinen ja että se hajoaa elektroni-positroni pareiksi. Siispä arvaamme, että tuo jumalainen hiukkanen näyttää tältä: tetran jokaisella sivulla on torukset, kaksi kumpaakin kätisyttä. Jälleen voimme olla varmoja rakenteen oikeellisuudesta, sillä kokonais-sähkövaraus ja magneettinen momentti ovat nolliakin Higgsin hiukkasen. Niin ikään tämän mallin geometria tekee ymmärrettäväksi, miksi Higgsin hiukkasella on niin suuri massa.

Mutta mitä massa oikeastaan tarkoittaa? Fysiikan kenties kuuluisin yhtälö $E = mc^2$ vertaa energiaa E valonnopeuteen c tyhjiössä. Kuten tunnettua, valo etenee tyhjiössä suoraviivaisesti, mutta kaartuu massan, esimerkiksi taivaan-kappaleen ohittaessaan, kuten oli jo puhetta. Massa merkitsee siis sitä, kuinka paljon valon kulku poikkeaa verrattuna kulkuun tyhjiössä.

Higgsin hiukkasen massa on yli satatuhattokertainen verrattuna elektronin massaan. Tämän ymmärtämiseksi on hyvä huomata, että elektronin hajoamistuotteen välibosonin (W^-) massa on niin ikään yli satatuhattokertainen vaikka rakenteellisesti se poikkeaa elektronista vain siten, että toruksesta puuttuu yksi pieni silmukka. Toruksessa on siis hyvin pieni rako, johon ympärillä olevan tyhjiön fotonit joutuvat sopeutumaan. Hyvin lyhyt aallonpituus vastaa hyvin korkeaa energiaa eli suurta massaa. Higgsin hiukkasessa rako on vielä vähän pienempi, ja massa vielä vähän suurempi kuin välibosonin.

Tätä, jo hieman hengästyttävää alkeishiukkasten kaval-kadia voisimme toki jatkaa, mutta sitä tähdellisempään on palauttaa mieliin, mistä lähdimme liikkeelle, sillä sen seurauksia vain luettelen. Antiikin kreikkalaisten ideasta, että kaikki koostuu yksistä ja samoista jakamattomista luonnon perusosista, valokvanteista. Siitä seuraa yleinen luonnonlaki yhtäpitävissä alkuperäisissä muodoissaan. Ne ovat Newtonin 2. liikelaki, Maupertuis'n pienimmän vaikutuksen periaate ja Carnot'n termodynamiikan 2. pääsääntö. Usein viitataan luonnonlakeihin, mutta on vain yksi ja sama luonnonlaki.

Loppupäätelmä

On aika palata kysymykseen: Selittääkö luonnonlaki kaiken? Voin vakuuttaa: yleinen luonnonlaki selittää paljon ja sen kaiken yksinkertaisesti. Aivan kuten Maupertuis aikanaan, en tunne ainoatakaan ilmiötä, jota ei selittäisi energiaerojen mahdollisimman nopea tasoittuminen. Enkä tunne ainoatakaan olevaisen osaa, joka ei koostuisi pohjimmiltaan fotoneista.

On kuitenkin kysymyksiä, joihin en saa vastausta. En tiedä, johtuuko se taitamattomuudestani vai onko vain mielettöntä kysyä, miksi maailmankaikkeus syntyi. Onhan mielettöntä kysyä miksi elämä syntyi, kun ei ole eroa elävän ja elottoman välillä. En myöskään tiedä, miksi maailmankaikkeudessa perusosasia on 10^{121} kappaletta, miksei merkittävästi enemmän tai vähemmän.

Tällaiset kysymykset vaikuttaisivat edellyttävän jotain luonnonlain, kaiken teorian ulkopuolista. Mutta Universumin tuolle puolen en näe, enkä koe, siksi en ymmärrä, mistä vastaukset saisin. Vaikkei auta, niin käsittämättömyys on Gödelin epätäydellisyyslauseen mukaista: Ei edes periaatteessa ole mahdollista saada vastausta kaikkiin yhden rajatun teorian piiriin kuuluviin kysymyksiin.

Kiitos mielenkiinnosta.