

# Luonnonlain luonne

■ Arto Annala

Yksinkertaisen ja kaikenkattavan luonnonlain idea on kiehtonut ihmisiä kautta aikain. Myös nykyfyysiikka etsii kaiken teoriaa, joka selittäisi ja yhdistäisi kaikki fysikaaliset ilmiöt sekä ennustaisi minikä tahansa kokeen tuloksen. Tosin monet tutkijat epäilevät, onko ylipäätään perusteita olettaa, että jokin yksittäinen teoria voisi selittää kaiken. Ennen oli toisin. 1600- ja 1700-luvun taitteen luonnonfilosofisen, kokonaisvaltaisen katsantokannan mukaan oli vain luonnollista, ei lainkaan tavatonta, selittää yksi jos toinenkin tapahtumainkulku yhden ja saman periaatteen ilmentymänä, sillä tuolloin tieteenalojen eriytyminen oli vasta alullaan ja selitysten kirjo vielä tulollaan. Paljolti erillisiksi oppiaineiksi erikoistunut nykytiede voisi kenties ammentaa arvokasta näkemystä vanhasta kaikenkattavasta ajattelutavasta kohdatessaan käsitteellisiä ongelmia ja tulkitessaan uusia havaintoja yhä uusin selityksin.

Luonnon monimuotoisuus on runsasta, muttei sattumanvaraista, ja luonnon monimutkaisuus on hämmentävää, muttei umpimähkäistä. Havaitsemme säännönmukaisuuksia ja tunnistamme lainalaisuuksia. Vaikuttavimpia osoituksia luonnon järjestyksestä ovat kaikkialla ilmenevät yhtäläiset piirteet. Niitä ovat vinot, likimain logaritminormaaliset jakaumat, jotka kertyvät sigmoidisesti ja siten seuraavat logaritmi-logaritmi-asteikolla pääosin suoria eli noudattavat potenssilakeja. Esimerkiksi geenien pituudet jakautuvat samoin kuin sanojen pituudet. Jakauman vino muoto on sama, vain funktion parametrit vaihtelevat eliöstä toiseen ja kielestä toiseen. Myös eläin- ja kasvipopulaatiot levittäytyvät, lajista riippumatta, ekosysteemeissä samalla tavoin kuin taloudellinen vauraus laventuu, omaisuuden lajista riippumatta,

yhteiskunnissa. Niin ikään helmivene-nilviäisen kuoren kierteinen muoto seuraa samaa logaritmisista spiraalia kuin Marsin pinnalle jäähmettyneet laavavirrat. Myös ilmakehän syklonit pyörivät lämpötilaerossa samalla tavalla kuin kierteisgalaksit kieppuvat maailmankaikkeuden kaarevuudessa.

Myös moninaisten tapahtumain kulku on yhtenevää. Esimerkiksi kemialliset reaktiot ja kansantalouksien kehityskulut etenevät aika ajoin heilahdellen kohti tasapainosyklejä, kuten solun sitruunahappokiertoa ja maatalouden vuodenkiertoa. Ekologinen sukkessio (lajiston vähittäinen muuttuminen) etenee yhdestä lajista seuraavaan samalla tavalla askeltaen kuin teknologia kehittyi yhdestä innovaatiosta seuraavaan. Niin ikään tavarantuotanto laajenee samalla tavalla kuin eliölajien fylogeneettinen puu versoo. Aivokuorelta mitattu hermoston toiminta seuraa potenssilakia siinä missä maankuorelta mitattu seisminen aktiivisuuskin. Solujen aineenvaihduntaverkostoissa ilmenevät samat mittakaavattomat piirteet kuin kaupunkien joukkoliikenneverkostoissa tai maailmanlaajuisessa tietoliikenneverkossa tai taivaankannen kattavassa galaksien rihmastossa.

## Pienimmän vaikutuksen periaate

Suuri samanlaisuus ei ole sattumaa vaan seurausta samasta syystä: energiaerojen mahdollisimman nopeasta vähenemisestä. Tuo luonnon lainalaisuus opittiin tuntemaan täsmällisessä matemaattisessa muodossaan 1600- ja 1700-luvun taitteessa Newtonin toisena liikelakina ja Maupertuis'n pienimmän vaikutuksen periaatteena. Ei vain valo, Fermat'n periaatteen mukaisesti, vaan mikä tahansa muukin energivirta luonnollisesti valitsee nopeimman reitin

tasoittaessaan energiaeroja, siis kuluttaessaan vapaata energiaa, järjestelmän kehittyessä tilasta toiseen kohti tasapainoa ympäristönsä kanssa.

Luonnon päämäärähakuisuus eli teleologia ilmenee kaikenlaisten prosessien mahdollisimman nopeana kulkuna kohti vapaan energian minimiä. Tällä tavoin Maupertuis aikoinaan selitti kaikenlaisia fysiikan, biologian ja talouselämän ilmiötä. Tuolloin oli yhtä luonnollista todeta, että puro varioi kulkuaan ja virrataakseen mahdollisimman nopeasti, eli kuluttaakseen vapaata energiaa, puro luonnollisesti valitsee soljuvimmat uomat, kuin oli myös sanoa, että eläinpopulaation perinnöllisestä tai muusta vaihtelusta luonnollisesti valikoituvat ne yksilöt, jotka nopeimmin hyödyntävät voimavarat eli kuluttavat vapaan energian.

Luonnonvalinnan mittapuu on luonnonfilosofian yleiskäsittein ilmaistuna energiaerojen mahdollisimman nopea väheneminen, tapahtui se sitten lisääntyen, erilaistuen, sopeutuen, yhteistyön tai minkä tahansa muun mekanismin avulla. Myöhemmin Charles Darwin selitti samaa suuremmin aineistoin mutta suppeammin biologian käsittein eliökunnan kehitystä kuvaillessaan. Nykykertomus on karttunut lukuisten yksityiskohtien luetteloiksi, mm. geenikirjastoiksi, mutta kaventunut käsitteellisesti ja jäänyt vaille viitettäkään keskeiseen kysymykseen, miksi luonto kehittyi. Kuinka viisaalta vaikuttaakaan Alexander von Bungen, Tarton yliopiston kasvitieteen professorin, tokaisu 1800-luvun puolivälin tienoilta, että ymmärtääkseen luonnon yksityiskohtia, on tunnettava luonto kokonaisuudessaan.

Luonnon universaaleja piirteitä ja tapahtumainkulkuja on toki mallinnettu monin eri yhtälöin Pierre François Verhulstin vuonna 1838 löytämän logistisen kasvukäyrän jälkeenkin, mutta pienimmän vaikutuksen periaatteen matemaattinen analyysi osoittaa, että juuri tuon lain yksinkertainen liikeyhtälö kuvaa nuo kaikkialla ilmenivät yhtäläiset piirteet. Isaac Newtonin sanoin luonto on aidon yksinkertainen, ei tulvillaan turhia tekijöitä. On siis syytä kysyä, miksi kokonaisvaltainen luontokäsitys sittemmin eriytyi oppiaineiksi ja sirpaloitui selitysten kirjoksi.

## Tapahtumainkulkuja

Kuten tunnettua Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, ranskalainen matemaatikko ja oppinut, joutui jo elinaikanaan epäsuosioon kärhämöityään Samuel Königin, saksalaisen matemaatikon ja juristin, kanssa siitä, kenen idea pienimmän vaikutuksen periaate alun alkujaan oli. König antoi ymmärtää käsiinsä saaman kirjeen perusteella, että Leibniz oli jo vuosikymmeniä aiemmin muotoillut tuon universaalien periaatteen, vieläpä sen yleisemmän muodon, joka kattaa, ei vain vaikutuksen minimoinnin, vaan myös sen maksimoinnin. Kaiketi Maupertuis oli yllättynyt Königin väitteistä, sillä hän mm. epäili kirjeen aitoutta. Osoittautuikin että kyseessä oli Leibnizin kirjeen kopio, mutta moni ei oikein ymmärtänyt Maupertuis'n vaikuttimia, vaan ennemminkin näytti vain siltä kuin Maupertuis'lle, tuolloin mahtavan Preussin tiedeakatemian johtajalle, ei oikein mikään kunnia riittäisi.

Kaikesta huolimatta Leonhard Euler, sveitsiläinen matemaatikko ja fyysikko, asettui monien aikalaisten sekä myöhempienkin asiaan perehtyneiden ihmetykseksi puolustamaan Maupertuis'ta moittien Königiä säilymislain pilkkaamisesta, kun tämä puhui vaikutuksen maksimoinnista. Tällä Euler tarkoitti sitä, että kun järjestelmä kehittyi tilasta toiseen, liike-energian muutos rahoitetaan täsmälleen potentiaalienergian muutoksella ja dissipaatiolla eli energian virralla järjestelmästä ympäristöön tai päinvastoin. Vaikutuksen maksimointi ei voi tulla kyseeseen, koska silloin liike-energian muutos tulisi kustantaa 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 oli itsekin todennut, että pienimmän vaikutuksen periaate käsittää Isaac Newtonin kirjoittamat liikelait. Seikka, josta voimme tässä saman tien itsekin varmistua kertomalla Newtonin voiman määritelmän  $\mathbf{F} = d_t \mathbf{p}$  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*  $mv^2$  muutoksen, kuten Leibniz termin tunki, ja oikealta ensim-

mäiseksi liikemäärän  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$  muutoksen kiihtyvyyteen  $\mathbf{a}$  liittyvän suunnatun potentiaalienergian gradientin  $-\mathbf{v}\cdot\nabla U$  eli *vis mortuan* muutoksen, ja toiseksi jokaiseen tilamuutokseen erottomasti kuuluvan massan muutoksen Albert Einsteinin kuuluisaksi tekemän relaation  $dm = dE/c^2$  avulla energian virraksi eli dissipatioksi järjestelmästä ympäristöön tai päinvastoin.

Energiäksitteet ja niiden keskinäisen yhteyden Maupertuis saattoi hyvinkin omaksua Émilie du Châtelet’lta, joka tunnetaan parhaiten Newtonin *Principian* ranskantajana, mutta hänen ansionsa ovat suuremmat. Kirjassaan *Institutions de Physique* Châtelet tarkastelee mm., mitä oikeastaan tapahtuu, kun kaksi hevostäpää törmää tiellä toisiinsa. Ja hän päättää aivan oikein, että kolarissa ainakin osa liike-energiasta vapautuu ympäristöön, mikä ilmenee mm. kaikenlaisena voivotteluna ja valitteluna.

Niin... aikoinaan König toimi Châtelet’n yksityisopettajana, mutta myöhemmin Maupertuisista tuli Châtelet’n rakastaja. Châtelet jatkoi kirjeenvaihtoa Maupertuis’n kanssa vielä suhteen viilennyttyäkin, siis silloin kun oli uudelleen sulkenut suosionsa Voltairen. Ehkä Voltaire ei oikein ymmärtänyt kirjeenvaihdon intellektuaalista luonnetta, kun hän sitten myöhemmin sekaantui Königin ja Maupertuis’n väliseen skismaan kirjoittamalla ilkeämielisen pamfletin jälkimmäisestä. Kaiketi markiisitar Châtelet olisi vielä sotkun selvittänytkin, mutta kun hän oli jo vuosia aiemmin kuollut synnytyksen jälkeiseen komplikaatioon. Tuolloin Émilie oli jo lempanut Voltairen ja ottanut uuden rakastajan.

## Laskettavuuden vaatimus

Variaatioperiaate kyllä juurtui fysiikkaan, muttei siinä Maupertuis’n esittämässä asussa vaan muotoutui Eulerin, Lagrangen ja Hamiltonin kirjoitusten mukaisesti. Se tuskin oli seurausta tuosta kiusallisesta kärhästä, aikansa kalabaliikista, vaan ehkä enneminkin siitä, ettei Maupertuis’n liikeyhtälö sopinut ajan henkeen – eikä taida sopia oikein vieläkään. Osoittautui nimittäin, ettei liikeyhtälöä voida yleensä ratkaista. Kun se ei ole laskettavissa, sen avulla ei voi tehdä tarkkoja ennustuksia. Euler toki tuns

liikelain 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 lausua, että kun integrointirajat, tässä tapaukset korkeudet, muuttuvat integroitaessa, siis kiven vieressä, määrätylle integraalille on mahdotonta saada tarkkaa arvoa.

Vanhan luonnonlain mukaan kyvyttömyytemme tehdä tarkkoja ennustuksia ei siis pohjimmitaan johdu siitä, että jokin järjestelmä olisi liian monimutkainen tai että tietomme järjestelmästä olisivat liian puutteellisia, vaan se on luonnon tapahtumainkulun ominaisuus. Tuo determinismin puute, ja jopa ajoittainen kaootisuus, ilmenee jo ns. kolmen kappaleen ongelmassa.

Eihän kiven vierimisen myötä tapahtuva energiamaiseman muutos vaikuta suuren suurlta, mutta on se 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  $\frac{1}{2}mv^2$ .

Kuvaus luonnon tapahtumainkuluista, eli historiansa uurtavista eli ns. epäholonomisista prosesseista, on tietysti kaikille arkipäiväisen tuttua. Itse kullakin on takanaan henkilöhistoriansa, elämällä kokonaisuudessaan pitkä kehityshistoriansa, kuten myös koko maailmankaikkeudellakin. Kuitenkin fysiikan historia kertoo kehityksestä kohti historiatonta fysiikkaa, siis kohti oppiainetta, jossa ajan olemus ja sen suunnan syy ovat epäselviä. Niinpä me nykyään hellimme teorioita, jotka ovat laskettavia, vaikkeivät ne holonomisina, eli kuljetusta reitistä riippumattomina kuvailuina kuvaakaan luonnon tapahtumainkulkua. Edellytämme esimerkiksi, että kuvauksen matemaattisen muodon tulee olla unitaarinen, ts. että järjestelmään liittyy jokin normi, kuten todennäköisyyksien summan

tulee olla yksi. Vaihtoehtoisesti vaadimme, että teorian tulee olla mittainvariantti. Vakioinen vaikutus vastaa Emmy Noetherin teoreeman mukaisesti rikkumatonta symmetriaa. Kuitenkin luonnon järjestelmä kehittyvä tilasta toiseen symmetriansa rikkoen, kun järjestelmään virtaa ympäristöstä vaikutuskvantteja eli luonnon jakamattomia perusosasia, kuten Newton niitä nimitti Galileo Galileita omaksumansa atomistisen ajattelun mukaisesti. Niinpä nuo nykyiset laskettavuuden vaateet ovat vanhan luonnonlain näkökulmasta ennemminkin vain toiveitamme siitä, minkälaisena soisimme luonnon olevan kuin ymmärrystä siitä, minkälainen luonto on.

### Yllätyksellisyys

Tätä taustaa vasten onkin kiinnostavaa tarkastella vanhan luonnonlain avulla nykyfysiikan ongelmalliseksi kokemia havaintoja, eritoten niitä, joiden myötä on syntynyt sellaisia hämääriä käsitteitä kuin pimeä energia ja pimeä aine. Myös monet biologian mysteerit, kuten miksi luonnossa ilmenee vain tietyn kätisiä aminohappoja tai miksi perimämme sisältää niin paljon muutakin kuin geenejä, valottuvat uudelleen vanhan luonnonlain näkökulmasta. Samalla lailla kuin biologisissa järjestelmissä teollisuusstandardit takaavat tehokkaan tuotannon ja yhtä lailla kuin vain osaa perimästämme ilmenettään, niin vain murto-osaa kaikesta aikain kuluessa kertyneestä dokumentaatiosta käytetään tuotannonohjaukseen. Niin ikään biologisten systeemien aika ajoin arvaamaton kehitys, esimerkiksi mutaatioiden seurauksena, ja talouselämän oikukas käyttäytyminen, esimerkiksi markkinoiden vapautumisen seurauksena, ei niinkään aiheudu monimutkaisten järjestelmien yksityiskohtaisiin tekijöihin liittyvien tietojemme vajavaisuudesta, vaan yllättävät tapahtumat seuraavat luonnon epädeterminististä luonteesta. Kun kaikki riippuu kaikesta, *ceteris paribus*-periaate (”muiden asioiden pysyessä yhtäläisinä”) ei päde, kuten Stephen J. Gould terävästi totesi.

Olkoonkin, että vanhan luonnonlain selitys energiaerojen mahdollisimman nopeasta vähenemisestä on perin yksinkertainen, ellei peräti triviaali nykytieteen moninaisiin ja monimutkaisiin malleihin verrattuna, on kai kuitenkin olennaisinta tarkastella, onko se kaikesta huolimatta oikein.

### Lähteet

- Annala, A. (2011). Least-time paths of light. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 416, 2944–2948.
- Annala, A., Salthe, S. (2012). On intractable tracks. *Physics Essays* 25, 232–237.
- Beeson, D. (1992). *Maupertuis: An Intellectual Biography*. Oxford: Voltaire Foundation.
- Chalmers, A. (2012). Atomism from the 17th to the 20th Century. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
- Gould, S.J. (2002). *The Structure of Evolutionary Theory*. Cambridge (MA): Belknap Press of Harvard University Press.
- Kallio-Tamminen, T. (2011). Kohti uutta todellisuuskäsitystä – kvanttimekaniikka ja termodynaaminen energiovirta. *Tieteessä tapahtuu* 29:(1), 3–10.
- Limpert, E., Stahel, W.A., Abbt, M. (2001). Log-normal distributions across the sciences: keys and clues. *Bio-science* 51, 341–352.
- Maupertuis, P.-L.M. (1744). Accord de différentes lois de la nature qui avaient jusqu’ici paru incompatibles. *Mém. Ac. Sc. Paris* 417–426.
- Maupertuis, P.-L.M. (1745). *Vénus physique*. Paris.
- Maupertuis, P.-L.M. (1746). Les Loix du Mouvement et du Repos d’éduites d’un Principe Metaphysique. *Histoire de l’Academie Royale des Science et des Belles Lettres* 267–294.
- Mäkelä, T., Annala, A. (2010). Natural patterns of energy dispersal. *Phys. Life Rev.* 7, 477–498.
- Newman, M.E.J. Power laws, Pareto distributions and Zipf’s law. (2005). *Contemp. Phys.* 46, 323–351.
- Newman, M., Watts, D., Barabási, A.-L. (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton (NJ): Princeton University Press.
- Pekonen, O. (2004). Maupertuis ja pienimmän vaikutuksen periaate. *Tieteessä tapahtuu* 3, 15–19.
- Ramm, E. (2001). Principles of Least Action and of Least Constraint. *GAMM-Mitteilungen* 34, 164–182.
- Stén, J. (2007). Euler – moderni kolmesataavuotias. *Tieteessä tapahtuu* 25:(8), 3–9.
- Tuisku, P., Pernu, T.K., Annala A. (2009). In the light of time. *Proc. R. Soc. A* 465, 1173–1198.

**Kirjoittaja on Helsingin yliopiston biofysiikan professori.**

# aino



FREDA 33, HELSINKI  
MA-PE 10.30 - 18.00  
LA 10.30 - 15.00  
PUH. 611 611  
[WWW.AINO.NET](http://WWW.AINO.NET)