

SIMPPELI MUTTA SUMEA UNIVERSUMI

Kaikkeutta määrää kaksi yksinkertaista periaatetta, mutta silti maailma näyttäytyy meille monimutkaisena. Kun olet lukenut tämän, ymmärrät miksi.

Kun puhutaan luonnontieteellisestä maailmanselityksestä, monille tulee ensimmäiseksi mieleen Isaac Newton. Hänen päätyönsä, *Luonnonfilosofian matemaattiset perusteet*, julkaistiin vuonna 1687. Siinä annettiin ensimmäistä kertaa tyhjentävä selitys aurinkokunnan planeettaratojen käyttäytymiselle. Uutta oli se, että selitys oli matemaattinen ja perustui vain muutamaaan luonnonlakiin.

Newtonin lakien avulla hänen ystävänsä, tähtitieteilijä Edmond Halley, pystyi sitten laskemaan, että vuonna 1682 taivaalla näkynyt komeetta palaisi Auringon lähetyville reilun 75 vuoden välein. Halley'n komeetta ilmestyikin taivaalle ennusteen mukaisesti vuonna 1758 viisitoista vuotta tämän kuoleman jälkeen (seuraavan kerran se nähdään vuonna 2062).

Komeetta, joka oli Hastingsin taistelun ennusmerkki ja inspiroi länttä kohti osoittavalla sormellaan Tšingis-kaanin valloitusretkiä, symboloikin äkkiä rautaisten luonnonlakien muuttumattomuutta ja ihmisälyn niskaotetta luonnosta.

Newtonin mekaniikka on mielikuvissa paisunut fysikaalisten teorioiden ikoniksi. Siksi helposti kuvitellaan, että fysiikan kuvailu on aina yksinkertaista, determinististä ja monimutkaisille luonnonilmiöille soveltumatonta. Tämä käsitys on virheellinen.

Itse asiassa Newtonin mekaniikka on monessa mielessä epätyypillinen. Se ei ole esikuva, jota luonnonkuvailu on orjallisesti tuomittu seuraamaan. Vasta-esimerkiksi kelpaa mainiosti kaasujen ja nesteiden virtailua kuvaavat Navierin-Stokesin yhtälöt. Ne hallinnoivat sekä joen raskasta juoksua että sen koskenniskojen pyörteitä, sen suvantoja ja valuma-alueita. Ne ovat läsnä tähtien kaasukehissä ja jopa videopeleissä näiden jäljitellessä savun kulkeutumista. Yhtälöt ovat muodoltaan varsin yksinkertaiset, mutta silti niiden yleinen matemaattinen ratkaiseminen on niin vaikeaa, että siinä onnistunutta odottaisi Clay-instituutin miljoonan dollarin palkinto.

Newton on kuitenkin tärkeä kahdesta syystä. Ensinnäkin, vaikei hän sitä itse oivaltanutkaan, hänen lakiansa taustalla vaikuttaa yleisempi periaate, jota voisi kutsua perimmäiseksi luonnonlaiksi. Newtonin mekaniikka on sen eräs ilmentymä. Kyseessä on energia ja sen säilyminen.

Toinen syy liittyy tapaan, jolla pyrimme jäsentämään luonnonilmiöitä. Newton tuli avanneeksi oven ajatukselle, jonka mukaan kaikki, mitä luonnossa tapahtuu, tapahtuu samoista syistä.

Lukija ei kenties tiedä tai ole varma, pitääkö tämä ajatus paikkansa. Siksi tähän väliin olisi tarpeen eteenpäin auttava lukuohje, lyhyt kappale, jossa vahvistetaan, että näin todella on. Sen jälkeen on helpompi lukea eteenpäin.

Tätä visiota on fysiikassa seurattu menestyksellisesti jo pitkään. 1800-luvun puolivälissä James Clerk Maxwell yhdisti valon, sähköön ja magnetismin saman perusilmiön eri ilmentymiksi. Moderni hiukkasfysiikka on suoraa jatkoa Maxwellin työlle, ja siellä on juuri juhlistettu hiukkasfysiikan ns. standardimallin viimeisen palikan eli Higgsin hiukkasen löytymistä CERNissä 2013. Mutta fysiikan yhteinen mannerjalusta ulottuu paljon hiukkasfysiikan saaria kauemmaksi.

KORTTIPELI JA SEN SÄÄNNÖT (tai ENERGIA JA MITEN SE JAETAAN)

Newton kutsui painovoimateoriaansa teoriaksi *universaalista gravitaatiosta*. Tällä hän tarkoitti sitä, että painovoima toimii täsmälleen samalla tavoin Maan pinnalla ja aurinkokunnassa. Häntä ennen uskottiin vanhoja filosofeja seurailleen, että kuunalinen maailma oli luonteeltaan erilainen kuin kuunylinen maailma; että kuunalisen maailman liike oli korruptoitunutta, kuunylisen jumalaista ja korruptoitumatonta. Newton oli ensimmäinen yhtenäisteoreetikko, sillä hän väitti, että kyseessä on täsmälleen samanlainen liike.

Samalla hiekkalaatikolla puuhastelevat myös modernit säieteoreetikot yrittäessään näyttää kvanttifysiikkaa ja yleistä suhteellisuusteoriaa Kaiken teoriaksi. He puhuvat ylimääräisistä ulottuvuuksista ja ajan sekä avaruuden kvantittumisesta. Jos tämä kunnianhimoinen, toistaiseksi vain teoreettinen projekti onnistuu, sekä maailmankaikkeuden olemuksen että aineen pienimpien osasten selitykset pulppuaisivat yhdestä alkulähteestä.

Mutta mitä tekemistä esimerkiksi vesilammikon jäätymisellä, tienposken lepikon kasvulla, sähkölampulla, huoneilmalla, komeettaradoilla tai alkeishiukkasten välisillä törmäilyillä muka voisi olla keskenään? Ne tuntuvat täysin yhteismitattomilta ilmiöiltä, joita vieläpä kuvaillaan hyvin erilaisin käsittein.

Kaikissa näissä esimerkkitapauksissa taustalla kuitenkin jylläävät samat peruseriaatteet.

Jotta ylipäätään mitään voi tapahtua, tarvitaan vuorovaikutuksia: kappaleiden, atomien, puiden ja planeettojen on jollakin tavoin tunnistettava toisensa. Ja ne tekevät sen vuorovaikuttamalla ympäristönsä kanssa.

Sana ”vuorovaikutus” on fysiikkaslangia; koulukirjoissa puhutaan ”voimista”. Jälkimmäinen käsite on kuitenkin tautologinen: voiman sanotaan muuttavan kappaleen liiketilaa, mutta liiketilan muutosta ja voimaa ei voi mitata toisistaan riippumatta. Kiintoisa yksityiskohta on, että 1800-luvun loppupuolella Heinrich Hertz, joka tunnetaan sähkömagneettisten aaltojen havaitsemisesta, pyrki ohjelmallisesti poistamaan sanan ”voima” fysiikan sanastosta. Hänen ajattelunsa vaikutti voimakkaasti Ludvig Wittgensteiniin, joka omalla tahollaan pyrki poistamaan filosofiasta kaiken epäselvän puheen.

Vuorovaikutus on kuin korttipeliä. Atomi tökkää toista atomia ja muuttaa sen liikettä, mutta liikkeen muutokseen vaaditaan energiaa. Se on kortti, jonka liikkeen aiheuttajan täytyy luovuttaa. Mutta tämä korttipakka ei häviä milloinkaan vaikka kortit leviävät ympäri universumia.

Jos esimerkiksi yritämme työntää sormen rautakappaleeseen, se ei onnistu siksi, että raudalla olisi jokin erityinen ominaisuus nimeltä ”kovuus”. Asialla ovat sormen ja rauta-atomien väliset sähkömagneettiset vuorovaikutukset ja energia, joka tarvitaan metallin hilarakenteen ylläpitoon.

Mutta miksi sormen voi työntää veteen muttei rautatankoon? Siksi, että vesimolekyylit vuorovaikuttavat sekä keskenään että muiden kappaleiden kanssa eri lailla kuin rauta-atomit.

Tarkoittaako tämä sitä, että vuorovaikuttamisen tapoja eli luonnonlakeja on myriadeittain?

Ei, sillä sekä rauta-atomien että vesimolekyylien keskinäiset vuorovaikutukset ovat seurausta kourallisesta tapoja, joilla kaikkein alkeellisimmat aineen osat vuorovaikuttavat. Sekä rauta että vesi rakentuvat alkeishiukkasista reseptillä, joita energian säilyminen vartioi ja rajoittaa. Tosin

laajenevassa maailmankaikkeudessa energian käsitettä täytyy hieman yleistää, mutta perusperiaate on myös alkuräjähdyksen jälkeisen ensimmäisen sekunnin aikana sama.

Energia säilyy, ja kun sitä pallorellaan vuorovaikutuksissa, pyritään näkemään mahdollisimman vähän vaivaa. Fysiikassa tämä tunnetaan ”pienimmän vaikutuksen periaatteena”, ja luonnollisesti sillä on täsmällisen matemaattisesti määritelty kaavansa. Muita periaatteita ei sitten tarvita.

EPÄLINEAARISUUDEN TAIKA

Tällä tavoin voimme ymmärtää esimerkiksi vetyatomien ominaisuudet. Samoin ymmärrämme atomien ja molekyylien rakentumisen. Mitä suurempia kappaleita tarkastelemme, sitä enemmän niissä on rakennosasia ja sitä monimutkaisemmaksi niiden kuvailu tietysti muuttuu. Kyseessä on kuitenkin vain tekninen ongelma: fyysikkoparan lasku-urakka käy vaikeammaksi ja vaikeammaksi ja lopulta käytännössä lähes mahdottomaksi, mutta mihinkään periaatteelliseen murtokohtaan ei toistaiseksi ole törmätty. Koko ajan energia säilyy ja vaivaa nähdään niin vähän kuin mahdollista.

Luonnonkuvailun perusta on siis hyvin yksinkertainen. Syypää maailman näennäiseen monimutkaisuuteen löytyy alkeishiukkas-vuorovaikutuksien luonteesta: ne ovat epälineaarisia.

Jos lyön vasaralla kattilaan, kuuluu paukahdus; jos lyön kattilaa kaksi kertaa kovempaa, kuuluu kaksi kertaa kovempi paukahdus. Tämä on esimerkki lineaarisesta vuorovaikutuksesta.

Epälineaarisuus tarkoittaa sitä, että voiman ja sen vaikutuksen välillä ei vallitse suoraa verrannollisuutta. Kaksi kertaa kovempi isku voi aiheuttaa vaikkapa neljä kertaa kovemman äänen.

Säätila on tuttu esimerkki epälineaarisuudesta. Alun perin vähäiset pilvimuodostelmat voivat kokoontua saderintamaksi. Perhosen siiven isku voi aiheuttaa myrskyn – tai sitten ei; epälineaariset vuorovaikutukset johtavat usein ennustamattomuuteen. Epälineaarisuuteen liittyy nimittäin myös takaisinkytkentä: perhonen pukkaa ilmamolekyyliä ja se pukkaa takaisin perhosta, mutta sekä perhonen että molekyylit nykivät ja puskevat samanaikaisesti muita molekyyliä, jotka kaikki tönisivät toisiaan jatkuvasti.

Kuvattavan ilmiön ja ympäristön takaisinkytkentä ei siten ole ihmistieteiden erikoisuus, kuten usein näkee väitettävän. Ihmisen ja hänen ympäristönsä välillä vuorovaikutusta tapahtuu ilmiselvästi moneen suuntaan, mutta sama pätee mihin tahansa alkeishiukkaspuuroon. Tai ilmakehän käyttäytymiseen, jota jo mainitut Navierin-Stokesin yhtälöt kuvaavat.

Toinen hyvä esimerkki epälineaarisesta systeemistä on solu. Se sisältää monenlaisia molekyyliä alkaen proteiineista ja DNA:sta aina solukalvon lipideihin, jotka kaikki vuorovaikuttavat toistensa ja solu ympäristönsä kanssa.

LASIT POIS SILMILTÄ

Näin monimutkaisia systeemeitä on liki mahdoton kuvailla täsmällisesti, ja siksi käytännössä on aina turvaututtava tilastollisiin menetelmiin. Meidän on tyydyttävä karkeaan ja keskimääräiseen kuvailuun. Tilastollinen fysiikka, joka muodostaa oman suunnattoman tieteenalansa, onkin sekä kompassi että kaikuluotain luonnon monimutkaisuutta kartoitettaessa. Sen käytäntöjä sovelletaan lähes kaikkiin luonnonilmiöihin aina alkuräjähdyksen hiukkaspuurosta perunatärkkelykseen.

Navierin-Stokesin yhtälöt ovat tilastollisia siitä mielessä, ettei niillä kuvata vaikkapa yksittäisten vesimolekyylien käyttäytymistä vaan suuren vesimolekyylijoukon keskimääräistä käyttäytymistä. Sen tarjoaman kuvailun sanotaan olevan karkeistettua.

Navierin-Stokesin yhtälöt voidaankin johtaa sopivasti karkeistamalla yksittäisiä vesimolekyyliä kuvaava mikroskooppinen teoria. Käytännössä fyysikko nostaa nenälleen eräänlaiset todellisuutta sumentavat matemaattiset silmälasit. Mutta silloin luonnonkuvailu muuttuu laadullisesti. Tieto yksittäisten molekyylien käyttäytymisestä katoaa.

Sumennetun teorian sanavarastoon ilmestyy sen sijaan esimerkiksi käsite ”paine”, joka ei esiinny lainkaan mikroskooppisessa teoriassa. Luonnonlait siis riippuvat tarkkuudesta, jolla kuvailu suoritetaan. Sumeutettu luonto näyttää laadullisesti erilaiselta verrattuna mikroskooppiseen tasoonsa.

Esimerkiksi kemia on pohjimmiltaan ajan ja paikan sumentamien silmälasien läpi nähtyä atomifysiikkaa. Kemian lait ovat karkeistettuja fysiikan lakeja. Tämä tosiseikka ei millään tavoin vähennä kemian arvoa tai tarpeellisuutta.

SUMEUTUNUT TODELLISUUS

Newtonin inspiroimien nykyfyysikoiden haaveena on Teoria kaikesta, aineen, ajan ja avaruuden perimmäisten rakenneosien yhtenäistetty kuvailu. Jos sellainen on olemassa, kaikkia luonnontieteen teorioita voisi periaatteessa – muttei koskaan käytännössä – pitää sen karkeistuksina.

Tämä ei suinkaan tarkoita sitä, että kaikki on ennalta määrättyä tai täysin ennustettavaa. Newtonin sijasta mielessä tulisi pitää paitsi 1800-luvun arvokkaat herrat Claude-Louis Navier ja George Gabriel Stokes myös kvanttifysiikan pitkä varjo, joka muistuttaa todellisuuden sisäisestä ja poistamattomasta epätarkkuudesta.

Kvanttifysiikan pitkä varjo ja poistamaton epätarkkuus vaatii jonkinlaista avaamista.

Kvanttifysiikka syntyi 1920-luvulla kuvaamaan atomitason liikettä. Kaikkien yllätykseksi osoittautui, että aineen pienimpien osien liike on erilaista verrattuna Newtonin liikelakeihin. Havaittiin, että mikromaailmaan liittyy perustavanlaatuinen sumeus: yksittäisen alkeishiukkasen radan ennustaminen ei ole edes periaatteessa mahdollista. Voimme puhua vain todennäköisestä radasta.

Kaikki suuret esineet koostuvat atomeista ja alkeishiukkasista. Siksi ei ole olemassa erikseen mikro- ja makromaailman lakeja. Kvanttifysiikka ohjastaa kaikkea olevaista. Miksi makromaailman lait näyttävät hyvin erilaisilta verrattu mikromaailman kvanttilakeihin on pähkinä, johon on saatu selvyttä vasta viimeisen parin vuosikymmenen aikana. Siinäkin on kysymys karkeistuksesta, jonka joudumme suorittamaan käytännön pakon edessä. Emme näet pysty huomioimaan yksittäisten atomien kaikkia vuorovaikutuksia ympäristönsä kanssa.

Tarkkuus, jolla suurehko atomaarinen koje ympäristönsä näkee ja kokee, riippuu sen arkkitehtuurista: millä tavoin se on rakennettu tai biologisten prosessien kautta kehittynyt ja miten se käytännössä toimii. Toisin sanoen, miten se vuorovaikuttaa ulkopuolisen todellisuuden kanssa.

On vääjämätöntä, että tuo kokemus on sumea ja karkeistettu ja siksi mittaamattomien etäisyyksien päässä atomien ja alkeishiukkasten maailmasta. Ja jos kyseinen atomaarinen systeemi kykenisi ihmisen lailla mietiskelemään tuntemuksiaan, se voisi helposti ajautua virhepäätelmään, ettei sen kokemusmaailmalla ole mitään tekemistä atomien kanssa.