

Fysiikka ja haaveet parhaasta mahdollisesta maailmasta

Keijo Kajantie

Ivar Ekeland: *Paras mahdollisista maailmoista.* Art House 2004.

Ivar Ekelandin (s. 1944 Pariisissa, ranskalainen matemaatikko ja yliopistohallintomies, nyt kanadalaisen matematiikkainstituutin johtaja) kirja maalailee todella suuria linjoja, yhdistää fysiikan lakien muotoilussa käytettävät minimiperiaatteet ja ihmisten haaveet parhaasta maailmasta.

Lisänä on tarinoita Maupertuisin ja Celsiuksen retkestä Lappiin 1737, mekaniikan ja geometrian perusteita, norjalainen kansansatu, luonnonvalintaa ja yhteiskuntateoriaa. Tärkein osa otsikon alle kuuluvasta nykyajan fysiikasta ja kosmologiasta jää kyllä käsittelemättä.

Tiivis tapa ilmoittaa fysiikan lait on minimiperiaate, on olemassa eräs suure, vaikutus eli aktio, jonka fysikaaliset tapahtumat klassillisessa fysiikassa minimoivat. Ensin on tunnistettava ilmiötä kuvaavat vapausasteet.

Yksinkertaisimmassa tapauksessa tämä voisi olla painovoimakentässä liikkuvan pisteen paikkakoordinaatti ajan funktiona. Jo Newton opetti, että paikkakoordinaatin muutosta kuvaa laki "voima on massa kertaa paikkakoordinaatin kiihtyvyyttä". Tämä perustava luonnonlaki voidaan ilmoittaa toisessakin muodossa: paikkakoordinaatin muutos on sellainen, että liikettä vastaava aktio minimoituu. Aktio voidaan helposti kirjoittaa kaavana mutta sanallisesti se jää epäselväksi ("kineettisen energian ja poten-

tiaalienergian erotuksen aikaintegraali”).

Toinen tärkeä tapaus on se, jossa vapausasteet ovat sähkömagneettisten kenttien, sähkökentän ja magneettikentän, arvot jossain paikassa ja jonain aikana. Vaikutus taas voidaan laskea yksinkertaisella tavalla sähkökentän ja magneettikentän suuruuksista. Nämä eivät voi vaihdella mielivaltaisella tavalla, vaan jälleen niin, että vaikutus saa miniminsä. Tämä johtaa luonnonlakeihin, Maxwellin yhtälöihin, jotka säätelevät koko teollistuneen yhteiskunnan toimintaa.

Klassillisessa fysiikassa aktio todella saa ääriarvonsa, mutta kvanttifysiikassa sen arvo voi itse asiassa vaihdella niin että vaihtelujen suuruuden määrää Planckin vaikutuskvantti. Teoria voidaan siltikin muotoilla vaikutuksen avulla kunhan otetaan huomioon nuo kvanttifluktuaatiot ja tämä onkin elegantein tapa muotoilla kvanttifysiikka. Vapausasteet voivat sitten olla vaikkapa jonkun 10-dimensioisessa avaruudessa liikkuvan kvanttisäikeen koordinaatit. Aktio voidaan aina kirjoittaa

ja teorian ennustamat luonnonilmiöt ilmoittaa sen avulla. Tämä selittää miksi aktio on niin keskeinen käsite fysiikassa, ”physics is where action is”.

*

Pienimmän vaikutuksen periaatteen historia on äskettäin ollut esillä tämän lehden palstoilla, numerossa 3/2004 Osmo Pekonen kirjoitti Maupertuisista ja hänelle nimetyyn periaatteen synnystä ja historiasta sekä käänsi Maupertuisin alkuperäisen julkaisun. Maupertuis on suomalaisille sikäli tärkeä, että hän jo vuonna 1737 teki mm. Celsiuksen kanssa Tornionjokilaaksoon astemittausmatkan, josta retkikunnan pappi Outhier julkaisi suomeksikin käännetyn matkakertomuksen.

Pekosen artikkelit valaisevat tieteen historiaa mielenkiintoisella tavalla ja panin luennoimani teoreettisen fysiikan graduate-kurssin harjoitustehtäväksi näiden artikkelien lukemisen. Mieluimmin kyllä luettaisiin Maupertuisin artikkelia alkukielellä, mutta en löydä sitä verkosta kuin suomeksi Pekosen ansiosta!

Odotan innolla, kuten kaikki muutkin, että googlen hanke siirtää kaikki vanha kirjallisuus verkkoon on valmistuu ja pian.

Maupertuisin alkuperäisen julkaisun tekee erityisen opettavaiseksi se, että hänen lähtökohtansa ovat fysikaalisesti aivan väärät mutta hän kuitenkin johtuu aivan perustavaa laatua olevaan ja oikeaan ”vähemmän vaivan” pe-

riaatteeseen. Hän nimittäin uskoi, että valo liikkuu aineessa nopeammin kuin tyhjiössä, siihen aikaanhan tätä ei mittauksilla pystytty todentamaan. Virheellisistäkin lähtökohdista voi siis hyvällä onnella päästä merkittäviin tuloksiin.

*

Tämä on niin mielenkiintoinen tarina, että ehkä jopa yritän luonnostella argumentteja yksityiskohtaisesti.

Maupertuisin tavoitteena oli ymmärtää jo silloin tunnettu Snellin laki, joka kertoo miten valo käyttäytyy kulkiessaan kahden aineen rajapinnan lävitse. Jos taitekerroimet aineessa rajapinnan molemmin puolin ovat n_1 ja n_2 ja tuloikulmat k_1 ja k_2 , sanoo laki, että $n_1 \cdot \sin(k_1) = n_2 \cdot \sin(k_2)$ (seuraavassa \cdot = kertaa, $/$ = jaettuna). Oikean johdon tälle laille antoi Fermat. Hän uskoi, kuten totta on, että valon efektiivinen nopeus aineessa on $v = c/n < c$ = valon nopeus tyhjiössä, koska aina taitekerroin $n > 1$.

Lähtien tästä oletuksesta Fermat johti Snellin lain minimoimalla matkaan kuluvan ajan, siis suureen matka/nopeus. Tämä johto on fysiikan peruskursseissa nykyäänkin. Maupertuis itsevarmasti toteaa, että ”valo liikkuu nopeimmin tiheimmissä väliaineissa, koko Fermat’n ja Leibnitzin rakennelma luhistuu”, siis hänelle $v = n \cdot c > c$. Hän ryhtyy minimoimaan suuretta matka * nopeus ja johtaa aivan oikean Snellin lain. Tuo suure on tämän lehden numerossa 3/2004 sivulla 23 olevassa Maupertuisin alkuperäisen artikkelin käännöksessä.

Mutta kuinka voidaan oikea fysikaalinen tulos saada väärällä oletuksella valon nopeudesta? Selitys on se, että tämän ongelman kannalta Maupertuis minimoikin väärää suuretta väärällä nopeuden kaavalla! Virheet kompensoivat toisensa ja tulos on oikea. Mutta tuo suure on, erityisesti kun se kerrotaan massalla (minikä Maupertuis myöhemmin huomasi tehdä) sama kuin massa * matka * nopeus = aika * massa * nopeuden neliö = aika * kineettinen energia, joka on mahdollisimman yksinkertaistettu versio aktiosta, vaikutuksesta. Tässä muodossa olevan aktion minimointi ei sovellu Snellin lain johtoon, mutta se on täsmälleen oikea periaate yleensä mekaniikan ongelmiin, kuten suuri matemaatikko Euler pian osoitti (ja jos googlen hanke olisi valmis, voisi heti tarkistaa misä, milloin ja miten).

Tieteen historiassa ei ole epätavallista, että oikeita tuloksia saadaan väärillä laskuilla tai argumenteilla, mutta harvoin tulos on näin merkittävä.

*

Fysiikassa minimiperiaatteen asema on perin selkeä, mutta Ekeland ottaa pitkän askelen ja ryhtyy pohtimaan mikä on paras maailma, biologiselta ja yhteiskunnalliselta kannalta. Tällöin ei tietysti voida kirjoittaa tarkkoja yhtälöitä, vaan joudutaan sanallisen selittelyn tielle. Ajatus on, että maailmankaikkeus ja ihminen eivät ole suunnitelman tai välttämättömyyden hedelmiä, vaan tulos prosessista, joka on ollut käynnissä maailmankaikkeuden alusta lähtien.

Ekeland ryhtyy pohtimaan, eivätkö juuri nämä prosessit päädy siihen, että tulos olisi paras kaikista mahdollisista tuloksista. Hänen pohdiskelunsa johtavat darwinilaiseen luonnonvalintaan, sattuman merkitykseen historiasa, optimoinnin ongelmiin, erilaisiin yhteiskuntajärjestelmiin ja lopuksi jopa ympäristönsuojeluun. Kaikki ovat tärkeitä asioita, mutta yhteys fysiikan minimiperiaatteisiin on kyllä lievästi sanoen keinotekoinen.

Fysiikan minimiperiaatteiden ja ”parhaan mahdollisen maailman” yhteys on kuitenkin tavattoman läheinen tavalla, jonka Ekeland ohittaa ja joka on viimeaikaisen tieteellisen keskustelun keskipisteessä. Asiaan liittyvät esimerkiksi käsitteet antrooppinen periaate ja multiversumi, monikaikkeus, vastakohtana universonille, maailmankaikkeudelle, yksikaikkeudelle.

Keskustelu on osittain varsin spekulatiivista, mutta lähestyy normaalia empiirisen tieteen paradigmaa. Näinhän on käynyt myös kosmologialle, joka nykyään on täsmätiedettä.

*

Antrooppinen periaate terminä on parikymmentä vuotta vanha, mutta jo kauan on ollut ilmeistä, että ympäristömme ominaisuuden on viritetty tavattoman tarkasti juuri sopiviksi ihmisen olemassaoloa varten. Tämä pätee ensinnäkin moninasiin makroskooppiseen ympäristömme ominaisuuksiin, mutta tieteen kehityksessä on viritteilyn tarkkuus pelkistynyt ja tullut entisestääänkin hämmästyttävämmäksi. Jos pyysimme tunnetun tieteen alueella, on viime kädessä kysymys standardimallin parametreistä, joita on 26 kpl.

Standardimallissa on kvarkkeja ja niistä erityisesti d-kvarkin massa on noin 7 MeV ja u-kvarkin noin 4 MeV. Jos d-kvarkki olisikin muutaman MeV:n kevyempi, olisikin protoni epästabiili eikä meillä olisi ytimiä, ei kemialla, ei mitään nykyisen kaltaista, ei ainakaan ihmistä. Näin mitättömän pienestä erosta riippuu ihmisen kannalta ”paras mahdollinen maailma”.

Niin kauan kuin näiden arvoja ei osata laskea, voidaan ongelma kääntää nurin päin ja tukeutua antrooppiseen periaatteeseen: parametrien arvot ovat sellaisia kuin ovat koska on olemassa niitä mittaava havaitsija.

Uusimmat toistaiseksi spekulatiiviset teoriat pyrkivät kuitenkin määräämään luonnon parametrien arvot. Päämääränähän on jonkinlainen kaiken teoria, jonka ratkaisuna saataisiin nykyinen yksikaikkeus. Vaikka teoria oli yksi ja yhtenäinen voi sillä olla loputon määrä ratkaisuja ja me vain elämme yhdessä näistä. Tähän päädytään erityisesti koska on otettava huomioon kvanttimekaniikka koko maailmaa tarkasteltaessa. Kvanttimekaniikassahan on vain todennäköisyyksiä eri vaihtoehtoille, jotka kaikki voivat toteutua.

Nykyinen tiede joutuu ihan konkreettisesti ottamaan huomioon sen mahdollisuuden, että elämme monikaikkeudessa, on olemassa muitakin maailmoja, joihin emme koskaan voi olla kausaalissa yhteydessä eli joista emme joskaan voi saada kontrolloitua toistettavaa havaintotietoa.

Loogisesti ne muutkin vaihtoehtoiset maailmat voivat olla olemassa havaintopiirimme ulkopuolella. Yleensä ne muut maailmat eivät voisi sisältää meidän kaltaistamme elämää ja me nyt olemme juuri tässä maailmassa vain siksi että vain siksi muissa maailmoissa emme voisi olla. Antrooppista periaatetta voidaan siis joutua soveltamaan.

*

Ekelandin kirjan johtoajatus, yhteyksien rakentaminen fysiikan kvanttifluktuaatioilla täydennetyin minimiperiaatteen ja ihmiselle parhaan maailman välille on mielekäs ja kiinnostava, mutta sen käsittely jää kyllä aivan puolitiehen. Ajatus on nykyisen fysiikan ja kosmologian tutkimuksen keskipisteessä, mikä kirjasta ei käy ilmi.

Parhaat kirjan otsikon alle kuuluvat asiat jäävät täysin syrjään, kirjoittaja ei ole tainnut niitä harrastaa. Kirjan parasta antia onkin tekijän omaan tutkimusalaan liittyvä erinomainen esitys klassillisen mekaniikan yhtälöiden ratkaisemisesta. Tämän lukeminen on todella antoisaa.

Lopuksi pieni terminologinen kommentti. Englannin sana *string*, fraaseissa *cosmic string* ja *string theory*, merkitsee fysiikassa kahta eri asiaa, joille suomenkielessä on onnistuneesti kaksi eri sanaa, jänne ja säie.

Cosmic string on kosminen jänne, joka jättiläismäisen pitkänä ja olemattoman kaapea-

na voisi ulottua maailmankaikkeuden laidasta toiseen (näitä ei kyllä näytä olevan olemassa). String theory taas on säieteoria, teoria äärimmäisen pienistä avaruudenkin rakennetta muuttavista kvanttisäikeistä. Tämän kirjan kääntäjä käyttää vielä kolmattakin vaihtoehtoa jousi, puhuessaan jousiteorioista. Sana jousi joh-

taa ajatukset leveisiin kierteisiin auton jousiin ja se ei ehkä siksi ole laajemmin levinnyt tässä käsiteltyjen äärimmäisen kapeiden stringien suomenkielisenä vastineena.

Kirjoittaja on teoreettisen fysiikan professori Helsingin yliopistossa.