Descartesin liikkeen filosofia

Tutkielma Descartesin mekaniikasta ja siihen liittyvästä metafysiikasta

Jaakko Joutsi

Filosofian pro gradu-tutkielma

Elokuu 2011

Jyväskylän yliopisto

Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos

1. Tiivistelmä

Descartesin liikkeen filosofia
Tutkielma Descartesin mekaniikasta ja siihen liittyvästä metafysiikasta
Jaakko Joutsi
Filosofia
Pro Gradu-tutkielma
Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos
Jyväskylän yliopisto
Ohjaaja: Vili Lähteenmäki

Tämä tutkielma käsittelee Descartesin fysiikkaa ja siihen liittyvää metafysiikkaa. Liike sinänsä on hyvin monimuotoinen käsite ja pyrin tässä keskittymään vain elottomien kappaleiden liikkeeseen ja erityisesti törmäyslakeihin. Esimerkiksi planetaariset liikkeet, kappaleiden yleisen muodonmuutoksen sekä tuleen, magnetismiin, nesteisiin, gravitaatioon ja kaasuihin liittyvät liikkeet jätän tässä tarkastelussa pääosin pois, vaikka joitakin näistäkin ilmiöistä sivuan silloin, kun se on aiheellista tutkielman pääteeman kannalta.

Erityistä huomiota saavat Descartesin käsitykset matematiikasta, havainnosta ja yleisestä tieteenfilosofiasta sekä etenkin matematiikan ja todellisuuden suhteesta. Pyrin osoittamaan, että Descartesin fysiikka on edistyksellisyydestään huolimatta loogisesti ristiriitaista, mutta toisaalta sisältää myös joitakin samoja käsitteitä, joita käytetään tietyssä muodossa myös modernissa fysiikassa.

Tutkin liikettä lähinnä fysikaalisesta ja luonnonfilosofisesta näkökulmasta ja pyrin luomaan siitä kokonaiskuvan yhdistämällä sen Descartesin käsityksiin geometriasta, ajasta, metafysiikasta ja avaruudesta. Myös Descartesin mielenfilosofiaa on sivuttava, sillä se liittyy oleellisesti Descartesin luonnonfilosofiaan.

Erityistä huomiota saa Descartesin fysiikan metafyysisten taustojen pohdiskelu: missä määrin Descartesin ajatteluun ovat mahdollisesti vaikuttaneet Descartesin metafyysiset vakaumukset, skolastiikka, Descartesin käsitykset teologiasta sekä Descartesin ajan muut filosofit ja tiedemiehet.

Avainsanat: Descartes, metafysiikka, mekaniikka, matematiikka, tieteenfilosofia, liikelait, fysiikka, geometria, fysiikan historia

2. Sisällysluettelo

3. Esipuhe

> *Descartes pystytti seinät; Leibniz muurasi ikkunatkin umpeen; Schopenhauer kaivoi tunnelin ja yritti paeta –Torsti Lehtinen*

Runomuotoiset ajatukset voi ymmärtää monella tavalla. Kuitenkin tämä runo sopii tutkielman teemaan täydellisesti, mikäli seinillä tarkoitetaan tässä tapauksessa Descartesin mekanistista maailmankuvaa. Descartes loi mekanistisen maailmankuvan, jossa esineet kulkevat vain luonnonlakien mukaisesti, ainakin periaatteessa ennustettavalla tavalla, mutta jätti sielun tai mielen vapaaksi, jotta se voisi vaikuttaa maailmaan.

Leibniz taas ei hyväksynyt tätä, vaan asetti sielun/mielen ruumiin lailla tiukan deterministisen kehyksen sisäpuolelle. Eräs asia on mainittava heti alkuun: gradu ei oleellisesti käsittele Descartesin mielen filosofiaa, ja tästä syystä siinä on lähdetty liikkeelle John Cottinghamin ehkä yksinkertaistavastakin näkemyksestä, että sielu (**l'âme)** ja mieli (**l'esprit)** ovat Descartesilla enemmän tai vähemmän rinnakkaisia käsitteitä. Hän viittaa niillä yksinkertaisesti siihen johonkin, joka on tietoinen ja ajattelee – "Ajattelevaan olentoon". (Cottingham 1997, 29) Esimerkiksi teoksessa *Mietiskelyjä ensimmäisestä filosofiasta* Descartes noudattaa tätä linjaa:

> *(…) Joten sanoin, että "sielun" nimi on monimielinen, kun sillä tarkoitetaan molempia (sitä, jonka turvin ravitsemme itseämme, kasvamme jne, sekä ajattelua). Jos sillä tarkoitetaan nimenomaan "ihmisen pääasiallista formaa" tai "ensimmäistä aktia", silloin on ymmärrettävä vain prinsiippiä, jolla ajattelemme. Siitä olen useimmiten käyttänyt nimeä "mieli" välttääkseni moniselitteisyyttä; en nimittäin pidä "mieltä" sielun osana, vaan koko ajattelevan sieluna. (Descartes 2002, 272)*

Tämän gradun aiheena on näiden "seinien" sisäpuoli, Descartesin mekaaninen ja ennustettava maailma, joka on hämmästyttävän yhdenmukainen verrattuna nykyaikaiseen fysikaaliseen maailmankuvaan ja luo vahvan uskon ilmiöiden ennustettavuudelle. Jotta voisimme ymmärtää fysiikan nykyisyyttä, on meidän ymmärrettävä sen historiaa. Descartesin maailmankuva, joka ei kuitenkaan ollut ensimmäinen, joka suosi mekanistista determinismiä, on siinä olennaisessa osassa. Leibniz ponnistaa Descartesin pohjalta – tosin häntä monessa kohtaa kritisoiden – ja Descartesin tieteelliset ja filosofiset oivallukset vaikuttivat myös Newtoniin suuresti. Jopa Einstein palaa Descartesiin (luku 8.4), mikä muistuttaa tämän ajattelijan tärkeydestä nykyajan fysiikan kehityspolulla.

4. Johdanto

Tässä luvussa tutustutaan tutkielmaan tarvittavassa laajuudessa Descartesin vaikutteisiin ja saavutuksiin sekä yleiseen tieteenteon ilmapiiriin Descartesin aikana. Luvussa esitetään joitakin väitteitä, mutta todistukset niille esitetään myöhemmässä vaiheessa tutkielmaa.

Descartes on monille filosofian ja tieteen harrastajille ja ammattilaisille malliesimerkki modernista tiedemiehestä, joka hylkäsi oman aikansa ennakkoluulot ja sai aikaan suuria saavutuksia niin tieteessä kuin filosofiassakin. Häntä pidetään eräänlaisena vapaan ajattelun sankarina, yhtenä merkittävimpänä henkilönä taistelussa vanhentunutta, skolastista maailmankäsitystä vastaan. (Osler 1992, 509) Myös Descartesin vaikutukset ovat suunnattomat. Jo pelkästään fenomenologiassa hänet mainitaan tämän filosofisen suuntauksen tärkeänä edeltäjänä lähinnä *havainnon* tai *kokemusten* filosofisesta käsittelystä johtuen (Pihlström 2010, 61), analyyttisestä filosofiasta puhumattakaan. Monissa filosofian populaariteoksissa *modernilla filosofialla* viitataan nimenomaan Descartesin ajasta alkaneeseen ajatteluun (esim. Rodgers, Thomson 2009, 6).

Descartes on itse todennut, että laki, lääketiede ja muut tieteet tuovat mainetta ja rikkautta niille, jotka näitä tieteitä harrastavat. Descartes kokee olevansa onnekas siinä mielessä, ettei hänen ole koskaan tarvinnut harrastaa niitä ansaitsemismielessä, koska perheen varallisuuden takia hänen tilanteensa oli joka tapauksessa turvattu. (Clarke 2006, 34) Niinpä hänelle jäi aikaa tutustua tieteen ja filosofian perimmäisiin kysymyksiin, eikä vain yksittäisiin suppeisiin tarkoitusperiin suunniteltuihin ratkaisuihin.

Tästä suppeasta lähestymistavasta hän moittii mm. matemaatikko Fermat’ta (Descartes 2003, 27) ja Galileo Galileita (Dutton 1999, 51). Descartesin moitteet eivät nykypäivän näkökulmasta osu aivan kohdilleen, sillä sekä Fermat’n että Galileon tieteelliset työt ovat ”yksittäistapauksiin keskittymisestä” huolimatta vähintään yhtä tunnustettuja ja laajasti sovellettavia kuin Descartesin omat saavutukset. Voidaan toki huomauttaa, että sillä alalla, jota nykyään kutsutaan varsinaiseksi filosofiaksi, edellä mainittujen tiedemiesten ansiot ovat hyvin vaatimattomia, toisin kuin Descartesin. Kuten myöhemmin tulemme huomaamaan (luku 7.2), asiaa vaikeuttaa se, että tieteen ja filosofian raja oli Descartesin aikana hyvin suuripiirteinen ja välillä sellaista ei näytä olevan edes olemassa.

Descartesin aikaan varsinaiset matematiikan ja luonnintieteiden yliopistotiedemiehet[1] olivat vain osa tieteen ja filosofian kenttää, toisin kuin nykyään, jolloin lähes kaikki vakava perustutkimus tapahtuu yliopistojen seinien sisäpuolella. Esimerkiksi matemaatikko *Mersenne* oli munkki, *Fermat* taas matematiikkaa harrastava lakimies.

Muutenkin matematiikan ja muun tieteen tutkimus oli pitkälti varakkaiden ihmisten tai muiden eksentrikkojen harrastusten varassa: esimerkiksi todennäköisyyslaskennan tulokset ovat melko pitkälle rahapelejä harrastaneiden ihmisten, esimerkiksi Gerolamo Cardanon teoreettisen mielenkiinnon tulosta (Grinstead; Snell 1998, 20). Yliopistoista suhteellisen riippumattomana tutkijana toiminut Descartes ei siis ollut harvinainen tapaus ajan yleiseen henkeen verrattuna (Osler 1992, 512).

Descartesin vaikutusta on mahdotonta kieltää niin filosofiassa kuin tieteissäkään. Joukko-opin alkeiskurssi aloitetaan lähes aina *karteesisen tulon* määritelmällä. Lukiossa opiskellaan Descartesin keksimää, tosin myöhemmin monin tavoin modernisoitua[2] *analyyttista geometriaa*, ja *Descartesin linssiyhtälö*[3] on tuttu useimmille fysiikan opiskelijoille.

Descartesin teorioihin ja määritelmiin on helppo ihastua, koska ne ovat yksinkertaisia ja samalla ainakin osin erittäin käytännöllisiä. Descartesin fysiikan lopputulokset eivät kuitenkaan suurelta osin ole nykytieteen mukaisia, vaikka kenties edustavatkin sellaista käsitteistöä, joiden avulla moderni tiede pääsi kehittymään.

Todistan useammassakin kohdassa, että Descartesin fysiikka on ristiriidassa itsensä kanssa ja ensi sijassa tämä ristiriitaisuus, ei niinkään fysiikan lakien vastaamattomuus havaintojen kanssa, johti hänen fysiikan lakiensa kestämättömyyteen. Descartesin fysiikka sisältää joitakin hedelmällisiä ja nykyajan tieteen kanssa sopusoinnussa olevia teorioita ja käsitteitä. Kokonaisuus on kuitenkin kieltämättä pieni pettymys Descartesin matemaattiset taidot huomioon ottaen, jos vertaa sitä esimerkiksi Johannes Kepleriin tai Galileo Galileihin[4] (vrt. Descartes 2003, 14). Yksi tutkielmani pääaiheista on osoittaa, että tälle löytyy taustaselityksiä Descartesin filosofiasta (Kts. luku 7.2).

[1] Naiset olivat lähes kokonaan suljettuja yliopiston tutkimuksilta, kuten voimme havaita Descartesin eräästä huomautuksesta (Descartes 2002, 320).
[2] Kts. esim. David & Hersh, 1988, s.5. Descartesin matematiikka oli sekä vaikeaa että sekavasti esitettyä. Descartes ei mm. tuntenut karteesista koordinaatistoa, vaikka nimi sille annettiin Descartesin ansioiden perusteella myöhemmin.
[3] Selitetty kvalitatiivisesti teoksessa Optiikka (Descartes 2001, 197).
[4] Kepler kuvasi planeettojen etäisyyksien ja kiertoaikojen keskinäiset suhteet aivan oikein. Galileo Galileo taas kuvasi mm. kiihtyvyyksiä ja kappaleen heittoliikkeitä tavoilla, jotka ovat sopusoinnussa Newtonin mekaniikan kanssa.

Descartes hallitsi matematiikan, teki korkealaatuisia matemaattisia tutkielmia ja sovelsi joitakin näistä ideoista myös fysiikkaan, mutta yleisesti ottaen hän oli perinteinen kvalitatiivinen fyysikko, joka keskittyi Aristoteleen tyyliseen ilmiöiden kuvailuun, ei suureiden keskinäisten suhteiden pohtimiseen ja kuvaamiseen yhtälöiden avulla. Jälkimmäinen taas on modernissa fysiikassa itsestään selvä lähestymistapa. Toisaalta täytyy myös muistaa, että Descartes oli keskellä tieteellistä vallankumousta, jossa vasta opeteltiin luonnon kuvaamista kvantitatiivisin menetelmin.

Näyttää siltä että kvalitatiivisten metodien puute on harkittu metodi, sille ei pidä antaa liikaa merkitystä luonnon tulkinnassa, jossa kaikki palautuu ensisijaisesti kappaleiden ekstensioon eli ulottuvaisuuteen (luku 5.4) sekä yleiseen intuitioon. Vaikka matematiikan rooli on erittäin tärkeä Descartesin filosofiassa, sen ensisijainen merkitys ei ole luonnon adekvaatti kuvaaminen. Tämä päätelmä ei suinkaan ole Descartes-tutkimuksessa uusi. Sen sijaan en ole nähnyt tutkimusta, joka selittää kokonaisvaltaisesti, *miksi* näin on. Luvussa 7 olen koonnut vakuuttavimmat mahdollisuudet yhteen.

Näyttää siltä, että Descartesin innostus kvantitatiivisiin menetelmiin on suurelta osin Isaac Beeckmanin ansiota. Beeckman, joka vuonna 1618 kirjoitti päiväkirjaansa: ”fyysikko-matemaatikot ovat hyvin harvinaisia[5]”, teki matematiikkaa ja fysiikkaa yhdistävällä metodillaan suuren vaikutuksen nuoreen Descartesiin. Kuitenkaan Descartes ei ollut kiinnostunut esimerkiksi Beeckmanin vapaan pudotusliikkeen ja ajan suhteen ongelmasta vaan päätyi konstruoimaan tämän ongelman hedelmättömällä tavalla (Gaukroger 2002, 6-7). Descartes oli lähellä eräitä mekaniikan perusasioita, mutta jätti parhaimmat ideansa jalostamatta (luku 10.13), minkä johdosta Fermat, Leibniz ja Galilei tunnetaan nykyään ansioistaan mekaniikan ja optiikan saralla paljon paremmin.

Kunnia uuden mekaniikan keskeisestä tuloksesta (putoamisliikkeen matkan neliö on suhteessa kuluneeseen aikaan), lankesi fysiikan historiassa pääasiassa Galileo Galileille. Richard Arthurin mukaan myös Descartesin ensimmäinen liikelaki (luku 10.4), yksi niistä harvoista asioista jotka Descartesin mekaniikassa ovat sopusoinnussa Newtonin fysiikan kanssa, on todennäköisesti alun perin Beeckmanin idea (Arthur 2007, 3-4). Myös Daniel Garber on päätynyt samaan lopputulokseen (Garber 1992, 10) ja hän menee jopa vieläkin pidemmälle väittäen, että törmäyslait ovat muutenkin hämmästyttävän samankaltaisia kuin Beeckmanilla (Garber 1992,

[5] Kuten tunnettua, nykyään muunlaisia fyysikkoja kuin fyysikko-matemaatikkoja ei käytännössä ole olemassa.

231). Idea ensimmäisestä liikelaista esiintyi myös Galileo Galileilla[6] (Galilei 2010, 63), mutta ensimmäinen maininta siitä esiintyi Descartesilla jo vuonna 1618 (Garber 1992, 211), vuosia aikaisemmin kuin Galileon *Kaksi uutta tiedettä* julkaistiin.

Descartesin panos uuden fysiikan kehittymiseen näyttäisi ensi silmäykseltä olevan sekä kvantitatiivisesta että ideoihin liittyvistä näkökulmista melko merkityksetön. Beeckman ja Descartes muodostavatkin kiintoisan parin ja on mielenkiintoista huomata, että heidän keskinäisissä kiistoissaan Beeckman oli lähes aina hedelmällisemmällä linjalla nykytieteen näkökulmasta katsottuna, esimerkkeinä valon nopeuden äärellisyys (luku 10.1) ja tyhjiön olemassaolo (luku 8.3).

Descartesin fysiikan epäonnistumista on yritetty selittää niin kvantitatiivisen metodin puutteella kuin kirkonkirouksen pelollakin, jonka takia Descartes vältteli tarttumasta kiusallisiin kysymyksiin. Vähintään yhtä merkittävä epäonnistumisen syy oli Descartesin järkähtämätön vakaumus, jonka mukaan kaiken täytyi olla selitettävissä kappaleen ulottuvaisuuden kautta. Tämä teema toistuu koko Descartesin luonnontieteen läpi monissa paikoissa, kuten tulemme tutkielman aikana huomaamaan. Tästä johtuvat mm. tyhjiön kieltäminen (luku 8.3) ja painovoiman selittäminen jyrkän mekaanisena ilmiönä (liite 2), mitä ovat Descartesin fysiikan ehkä pahimmat virheet.

Descartesin epäonnistuminen fysiikassa saattaa kertoa siitä, että ”uudessa tieteessä” on välttämätöntä erikoistua. Esimerkiksi Kepler kehitteli jo pelkästään kolmatta yksinkertaista liikelakiaan kymmenen vuotta ja keskittyi tieteellisessä työssään pelkästään tähtitieteeseen (Aliseda 2006, 125). Descartes yritti olla aristoteeliseen tyyliin yhtä aikaa filosofi, teologi, matemaatikko, kaikkien alojen yleisfyysikko, joka ratkaisee niin liikkeen, valon, painovoiman kuin magnetisminkin ongelmat, tähtitieteilijä, geologi, fysiologi ja jopa jossain määrin psykologi. On selvää, että yksi ihminen ei voi näin laajalla alueella tutkia kaikkia asioita järjestelmällisesti ja perusteellisesti. Erityisesti fysiikassa tämä kostautuu, sillä pienetkin virheet perustavissa luonnonlaeissa tuottavat virheitä järjestelmällisesti myös niiden pohjalta muodostettuihin päätelmiin.

Descartesin fysiikan filosofiaan on kiinnitetty verrattain vähän huomiota ottaen huomioon sen, kuinka suurta osaa Descartesin tieteellistä ja filosofista uraa fysiikka kosketti sekä kuinka paljon

[6] Descartes-tutkija Blake Dutton on sitä mieltä, että Galileo ei olisi saavuttanut tätä tulosta (Dutton 1999, 54). Itse väitän toisin em. Galileo-lähteen perusteella.

hänen matemaattisten metodiensa ihannointi on vaikuttanut nykyajan luonnontieteisiin. Vaikka lähdeaineistosta ei ollut varsinaista pulaa, niin esimerkiksi Descartesin mielenfilosofiaan tai metafysiikkaan liittyviä lähteitä on tarjolla paljon enemmän kuin fysiikkaan tai yleensäkin luonnonfilosofiaan liittyviä lähteitä. Tämä johtunee siitä, että vain harvat filosofit ovat opiskelleet kylliksi fysiikkaa kommentoidakseen sitä ja vielä harvemmat fyysikot kokevat Descartesin fysiikan tutkimisen mielekkääksi, onhan se nykyajan fysiikan näkökulmasta järjestelmällisesti väärässä lähes kaikesta.

Kuitenkin fysiikan tutkiminen on filosofian näkökannalta hyvin olennaista, sillä Descartesin joitakin filosofisia ajatuksia ei voi ymmärtää ajattelematta matemaatikon tai fyysikon tavoin. Jopa Albert Einstein muisti Descartesia *yleisen suhteellisuusteorian* esipuheessa. Yleisen suhteellisuusteorian näkökulmasta Descartes oli tietyllä tasolla oikeassa ja Newton väärässä: tilaa ei yleisen suhteellisuusteorian mukaan tarvita erillisenä objektina, vaan se on vain massan vaikutusaluetta. (tarkemmin asiasta luvussa 8.4).

Descartesin fysiikan puutteista huolimatta on lähes mahdotonta kuvitella miltä myöhempi fysiikan historia näyttäisi ilman Descartesia (Blackwell 1966, 234). Näin ollen myöskään fyysikon ei ole viisasta väheksyä Descartesia, mikäli hän haluaa tarkemman kuvan siitä, miten nykyinen tieteellinen näkemyksemme on vuosisatojen aikana muotoutunut sellaiseksi kuin se on. On vahvoja, joskin suureksi osaksi tutkimusaiheen ulkopuolelle meneviä perusteita uskoa, että Descartes on vaikuttanut hyvin paljon Leibniziin ja Newtoniin, jotka taas ovat keskeisimpiä fyysikkoja modernin mekaniikan historiassa.

Fysiikan teoriat eivät ole yksinkertaisia havainnoista johdettuja loogisia idearakennelmia, jotka syntyvät ”rehellisestä ja loogisesta ajattelusta” ja ”puhtaasta havainnosta” yhdessä yössä (Blackwell 1966, 232). Vaikka tieteenfilosofit tästä usein muistuttavatkin, avaa menneiden fyysikoiden ja heidän filosofisten käsitystensä tutkiminen nämä väitteet aivan uudella tasolla.

5. Descartesin fysiikan filosofian lähtökohdat

Descartesin fysiikka on olennaisessa osassa hänen filosofiaansa. Jotta voisimme ymmärtää hänen metafyysisiä lähtökohtiaan, meidän on ymmärrettävä, millä tavoin hän kritisoi aikansa matematiikkaa, minkälaisia korjauksia hän mielestään teki siihen uudella matemaattisella järjestelmällään ja mikä on havainnon rooli fysikaalisen maailman ymmärtämisessä. Tätä lähestytään *intuition* ja *deduktion* käsitteiden avulla, jotka Descartesilla eroavat niiden nykyisin ymmärretystä merkityksestä (luku 5.3). Erityisen mielenkiintoinen anekdootti on myös hypoteesien rooli Descartesin järjestelmässä: Descartes tuntuu kannattavan tietynlaista *instrumentalistista* tieteentulkintaa.

5.1 Logiikka ja syllogismi

Descartes harrasti tieteitä lapsuudestaan asti, mutta oli sitä mieltä, että hänen korkeasta oppineisuudestaan ei ollut muuta hyötyä kuin se, että hän yhä selvemmin havaitsi olevansa tietämätön (Descartes 1994, 11). Descartes ei arvostanut kovinkaan paljon aikansa matematiikkaa, joka jakautui pääpiirteittäin logiikkaan (eli *syllogismiin*, ei nykyajan lause- tai predikaattilogiikkaan), geometriaan ja algebraan. Logiikkaan sisältyi paljon oikeita ja varsin hyviä sääntöjä, mutta niiden joukossa oli myös vahingollisia ja tarpeettomia.

Descartes hylkäsi syllogismin, aristoteelisen logiikan opin, koska se ei pystynyt hänen mukaansa tuottamaan tietoa. Descartesin matematiikka sen sijaan pystyi kertomaan, onko jokin asia tosi vai epätosi, ja samalla sillä pystyttäisiin luomaan periaatteita yksinkertaisemmasta vaikeampiin ja tuottamaan näin uutta tietoa (Moorman 1943, 300).

Esimerkkinä syllogismin turhuudesta Descartes mainitsee tunnetuimman ja merkittävimmän lauseensa: ”Ajattelen, olen siis olemassa”. Kukaan ei johda tätä lausetta väitteestä ”Kaikki, joka ajattelee, on olemassa” syllogismin sääntöjen mukaisesti vaan pikemminkin mielemme johtaa tämän yleisen johtopäätöksen yksityisestä. (Descartes 2002, 123)

Syllogismissa oli omat virheensä ja puutteensa jo pelkästään formaalisella tasolla[7], joten oli siis lähtökohtaisesti erittäin hyvä asia, että Descartes hylkäsi sen. Descartesin aikakaudella käsitettiin, että syllogismi vain varmistaa asiat, jotka jo tiedetään tosiksi, kun taas algebra laajentaa tietoa

[7] Kaikkein helpoin esimerkki syllogismin puutteista on olettaa tyhjä joukko: jos kaikki sumerilaiset ovat suippokorvaisia ja sumerilaiset ovat ihmisiä, niin emme silti voi päätellä että jotkut ihmiset ovat suippokorvaisia, koska sumerilaisia ei ole (enää) olemassa.

(Lenoir 1979, 364). Ehkä ytimekkäimmän perustelun logiikan turhuudesta löydämme *Järjen käyttösääntöjen* **säännöstä XIII**:

> *Jäljittelemme loogikkoja ainoastaan siinä, että samoin kuin he syllogismien muotoja käsitellessään olettavat niiden termien eli materian olevan tunnettuja, myös me edellytämme nyt, että kysymys ymmärretään täydellisesti. Mutta toisin kuin he, me emme erota kahta ääritermiä ja välitermiä[8], vaan tarkastelemme asiaa kokonaisuutena(…). (Descartes 2001, 89)*

Myös **sääntö XI** kertoo siitä, että mielen intuitio tapahtuu selvästi ja tarkasti, mutta myös yhdellä kertaa eikä vaiheittain (Descartes 2001, 73).

Descartesille looginen ajattelujatkumo intuitiivisena totuutena Descartesille on niin tärkeä, että kaikki, mikä monimutkaistaisi sitä entisestään esimerkiksi jakamalla sen Descartesin mielestä tarpeettomiin osiin, vain hämärtäisi totuutta. Intuitiivinen näkeminen on Descartesille pienin osa, mihin asioita on tarpeen jakaa. Kuten hän kirjoittaa:

> *Olen jo usein todennut, ettei pelkässä asioiden intuitiivisessa näkemisessä voi olla epätotuutta, olivatpa ne sitten yksinkertaisia tai yhdistettyjä. (Descartes 2011, 90)*

Filosofian periaatteissaan Descartes mainitsee, etteivät loogiset päättelyt itsestään tee tunnetuksi mitään olemassa olevia olioita: esimerkiksi jälleen syllogismin oppien mukaan päätelty väite ”Ei voi tapahtua niin, että se, joka ajattelee, ei ole” on kylläkin tosi, mutta Descartesin mukaan täysin hyödytön päättely. (Descartes 2003, 40)

Nykyaikainen looginen tutkimus on osoittanut, että logiikka pystyy paljon enempään kuin vain todistamaan jo tiedetyt asiat tosiksi, kuten eri luku- ja logiikkajärjestelmien täydellisyys- ja epätäydellisyyslauseet sekä matemaattisten objektien olemassaololauseet osoittavat. Esimerkiksi Gödelin epätäydellisyyslauseen sisällöstä (Casti & DePauli 2001, 49) ei pysty mitenkään vakuuttumaan pelkästään arkijärjen tai intuition keinoin.

Ottamatta kantaa siihen filosofiseen ikuisuuskysymykseen, tuottaako logiikka ”uutta tietoa” vai sisältyvätkö periaatteessa kaikki matematiikan tulokset jo väitelauseisiin, on helppo ymmärtää Descartesin innostus tähän tieteenalaan. Geometrian ja analyysin yhdistäen geometrisia käsitteitä

[8] Välitermillä tarkoitetaan väitettä, joka esiintyy kummassakin premississä, mutta ei johtopäätöksessä. Ääritermeiksi taas luetaan kaikki muut väitteet paitsi välitermit.

pystytään analysoimaan monin uusin tavoin, jotka ovat hyvin hankalia klassisessa, kreikkalaisessa geometriassa, jossa käytettiin vain (mitta-asteetonta) viivoitinta ja harppia. Esimerkiksi Eukleideen *alkeiden* geometrian osuus oli kirjoitettu pelkästään näitä apuvälineitä hyväksi käyttäen.

Algebra käsitteli Descartesin mukaan vain kovin abstrakteja ja täten myös hyödyttömiä asioita ja geometrian opiskelu oli vain väsyttävää kuvioiden tarkastelua. Tästä syystä Descartes pohti, olisiko olemassa jokin toinen metodi, joka liittäisi yhteen näiden kolmen matematiikan (logiikka, geometria, algebra) haaran edut, mutta jossa ei olisi niiden vikoja. (Descartes 1994, 22)

Aikansa matematiikan suppeudesta hyvin tietoinen Descartes oli sitä mieltä, että ainoastaan matemaatikot ovat kyenneet löytämään joitakin varmoja perusteita (Descartes 1994, 23). Voimme epäillä matemaattisia totuuksia ainoastaan, koska olemme nähneet jonkun erehtyneen tällaisissa asioissa ja pitäneen varmana sellaista, mikä on meistä epätotta, emme matematiikan itsensä takia (Descartes 2003, 38).

Descartes päätti olettaa suhteet ja verrannot viivoiksi[9], koska hän ei keksinyt mitään yksinkertaisempaa eikä mitään, minkä hän olisi voinut tarkemmin esittää mielikuvitukselleen ja aisteilleen. Hän myös halusi esittää nämä viivat niin lyhyesti kuin mahdollista. Tämä johti Descartesin ihanteeseen geometrisen analyysin ja algebran yhdistämisestä. (Descartes 1994, 24)

Descartesin varhaisfilosofiaan kuuluvassa teoksessa *Järjen käyttöohjeet* säännössä ***XV*** esitellään yksinkertainen esimerkki, joka selventää tätä ideaa. Esimerkiksi laskutoimitus 3+2=5 ei ole mitenkään välittömästi ilmeinen laskutoimitus, vaan vaatii yhteenlaskuoperaation ja lukujärjestyksen osaamista. Sen sijaan, jos nämä esitetään geometrisessa muodossa, kuten viivojen pituuksina, idea tulee paljon selvemmäksi (Descartes 2001, 104):

Matematiikkaa taitamatonkin ihminen pystyy päättelemään, että asettamalla kaksi ylempää janaa peräkkäin saadaan alin viiva. Ongelmaksi tulevat kuitenkin monimutkaisemmat laskut kerto- ja jakolaskuissa. Miten (erisuuntaiset) janat kerrotaan tai jaetaan keskenään (Gaukroker 2002, 9)? Tämä metodi johtaa monimutkaisiin operaatioihin, joka taas vie ajatukset pois asian ytimestä,

[9] Viiva tarkoittaa tässä asiassa (kuten nykygeometriassakin) pisteestä A pisteeseen B määrittelemätöntä reittiä etenevää jatkumoa, *suora* taas on viivan erikoistapaus.

niiden yksinkertaistamisesta tai ”välittömästä ilmeisyydestä”. Vaikka Descartes määrittelee nämäkin operaatiot *Geometriansa* alkusivuilla (Descartes 1954, 2-3), Descartesin uusi ajattelutapa ei silti pysty tekemään kaikkia laskutoimituksia itsestään selviksi vaan joissakin tapauksessa se vain monimutkaistaa niitä. Gaukrokerin (2002, 10) mukaan tästä johtuen Descartes keskittyi myöhemmissä töissään enemmän epistemologisiin, metafyysisiin ja luonnonfilosofisiin kysymyksiin.

Descartes tuntui itse olevan hyvin perillä tästä ongelmasta. Säännössä **XVII** mainitaan:

> *Tarvitsemme tähän (ongelman tarkasteluun oikeaa toimintatapaa noudattaen) vain neljä laskutapa: yhteenlaskun, vähennyslaskun, kertolaskun ja jakolaskun. Kahta jälkimmäistä ei tässä yleensä*[10] *suoriteta, jotta ne eivät vaikeuttaisi asioita; ne on sitä paitsi helpompi suorittaa loppuun myöhemmin. (Descartes 2001, 110)*

Koska *Järjen käyttöohjeet* on kesken jäänyt teos, joka ei sisällä näiden lupauksien mukaista pohdiskelua, ei ole varmaa, ajatteliko Descartes käsitellä ne loppuun tässä teoksessa vai säästikö hän niiden määrittelyn *Geometria*-teokseensa.

Nykyään kuuluisa unkarilaisen matematiikan Varga-Neményi-opetus, joka perustuu alakoulusta asti geometriaan ja abstrahoimattomaan, käytäntöön linkitettyyn algebraan (Gates 2001, 301), on melko lähellä Descartesin geometrista ja abstrahoimatonta matematiikan ihannetta (vrt. luku 7.2), jossa korostetaan osittain *Järjen käyttösääntöjen* mukaisia ohjeita. Unkarilaiset matemaatikot ovat olleet kansan pienestä populaatiosta huolimatta koko 1900-luvun ajan hyvin menestyksekkäitä: yksittäisinä esimerkkeinä mainittakoon John von Neumann, János Bolyai ja Marcel Grossmann, jotka ovat olleet tietokoneiden kehittämisessä ja suhteellisuusteorian luomisessa mitä keskeisimpiä hahmoja, sekä Paul Erdős, jota pidetään maailmanhistorian laaja-alaisimpana matemaatikkona (Valtaoja 2007, 44). Muilta osin unkarilainen tiede ei ole kovin tunnettua. Ehkä tässä olisi matematiikan pedagogeille aihetta tutkimukseen, joka selvittää, johtuuko unkarilaisten poikkeuksellinen matemaattinen lahjakkuus heidän opetuksensa painottumisesta geometriaan, ja onko tällä laajempaa yhteyttä Descartesin ideoihin.

[10] Säännön tarkastelun perusteella Descartes tarkoittanee sanoa: ”kertolaskua ja jakolaskua ei tässä käsitellä kuin hyvin yksinkertaisesti”.

5.2 Havainto

Descartesin käsitys havainnosta on oleellinen asia, jotta voisimme ymmärtää Descartesin fysiikkaa. Esimerkiksi unessa, kun olen mielestäni pukeutuneena ja tulen ääressä istumassa, mistä voin tietää, etten ole riisuuntuneena lakanoiden välissä (Descartes 2002, 33)? Descartes kuitenkin jo tässä vaiheessa erottaa jotain varmaa: kun maalarit keksivät kaikkein mielikuvituksellisimpia olentoja (seireenit, minotaurit, lohikäärmeet…), eivät he tee oikeastaan mitään muuta kuin sekoittavat eri eläinten jäseniä. Tai vaikka he keksisivät jotain niin fiktiivistä, ettei sitä ole nähty osittainkaan ennen, täytyy vähintään sen värien, josta he sen kokoavat, olla tosia (Descartes 2002, 34), kuten esimerkiksi täysin mielikuvituksellisen ja ennennäkemättömän tietokonepelin näytölle luomien väripikseleiden täytyy olla tosia.

Näiksi tosiksi asioiksi Descartes luettelee ulottuvaisten kappaleiden muodon, koon, lukumäärän, paikan ja ajan, jonka ne säilyvät. Matemaattiset tieteet ovat varmoja, koska ne käsittelevät olioita sinänsä (jos näen kaksi omenaa edessäni uneksiessani, on silti varmaa, että näen **kaksi** omenaa), kun taas esimerkiksi fysiikka ja lääketiede ovat epävarmoja, koska ne riippuvat kokoonpantujen olioiden tarkastelusta (Descartes 2002, 34).

Descartes ei erittele tarkemmin erittele, mitä tämä ”kokoonpantujen olioiden tarkastelu” tarkoittaa. Itselleni tulee ensimmäisenä mieleen kausaliteetti, koska näiden edellä mainittujen tieteiden fysikaalinen ja lääketieteellinen perusta on lähes aina siinä, että tiedetään asioiden väliset ajalliset riippuvuudet. Lääke X parantaa sairauden Y. Kuula A saa liikkeelle kuulan B. Näemme kokoonpantujen olioiden tarkastelussa yhdessä oliossa yhden ilmiön, toisessa oliossa toisen ilmiön. Tulkinta, jonka mukaan toinen olio on vaikuttanut toiseen olioon, kuten pallojen törmäyksen tapauksessa, on kuitenkin vain kokemukseen ja käytännön uskomuksiimme perustuva arvaus, koska kaksi asiaa vain sattuu tapahtumaan peräkkäin. On siis mahdollista, että Descartesin mielessä on jopa jonkinlainen David Humen teorioiden tyylinen kausaliteetin ongelma.

Descartes toteaa, että vaikka nämä ideat tulevatkin jostain ulkopuolisista olioista, siitä ei seuraa, että niiden täytyisi olla näiden olioiden kaltaisia. Hän viittaa arkipäivän kokemukseen auringosta, jonka mukaan aurinko näyttää sangen pieneltä kappaleelta. Kuitenkin järkeilyn ja astronomisten mittausten perusteella aurinko tuntuu olevan monin verroin maata suurempi, ja järki vakuuttaa, että tämä on lähempänä totuutta (Descartes 2002, 48)[11].

Kuitenkin Descartesin käsitys mielen ja todellisuuden suhteesta on hyvin positiivinen: ensinnäkin, koska Jumala on täydellinen, on selvää, ettei Jumala voi pettää tai käyttää vilppiä, koska kaikessa siinä olisi epätäydellisyyttä. (Descartes 2002, 58)

Lisäksi, koska ihmisellä on arvostelukyky, joka on varmasti saatu Jumalalta[12], ei ihminen tätä lahjaa oikein käyttämällä voi koskaan erehtyä (Descartes 2002, 59). Näin kaikkein radikaaleimman skeptisismin saa kumottua: on periaatteellinen mahdollisuus, että ihminen arvostelee asiat totuudenmukaisesti.

On kuitenkin eräs asia, joka jää kalvamaan mieltä. Descartes tietää, että hänen oma luontonsa on hyvin heikko ja rajoittunut, kun taas Jumalan luonto on täysin vastakkainen, vahva ja täydellinen joka suhteessa (Descartes 2002, 60). Miten on mahdollista, että täydellinen olio luo erehtyväisen ja epätäydellisen mielen, joka ihmisellä epäilemättä on? Descartes mainitsee ensinnäkin, että ihmisen tahdolla ja valinnanvapaudella ei ole mitään rajoja (Descartes 2002, 61). Toiseksi, vaikka jokin näyttäisi yksistään epätäydelliseltä, se voi kokonaisuutena tarkasteltaessa olla kuitenkin osa mitä täydellisintä maailmaa (Descartes 2002, 60):

> *Koko universumille on tavallaan suurempi täydellisyys, että jotkin sen osat alttiimpia erehdyksille ja toiset eivät, kuin että kaikki osat ovat aivan samanlaisia (Descartes 2002, 64).*

Kolmanneksi, erehdys syntyy silloin, kun meillä on tahto ratkaista jotain, mutta ei ymmärrystä: tahto on rajoittamaton, mutta ymmärrys ei. Tilanteessa, jossa ymmärrys ei riitä, on Descartesin mukaan viisasta pidättäytyä vastaamasta. (Descartes 2002, 63)

Descartes myöntää tässä viimeisimmässä argumentissaan, että järjellä on hänen mukaansa omat rajansa, ja ihmisellä on modernein termein ilmaistuna ”kognitiivinen sulkeuma”. Aivan kuten hämähäkki ei pysty koskaan ymmärtämään Picasson taidetta, vaikka kävelisi taulun päällä, aivan yhtä vähän ihminen pystyy ymmärtämään kaikkea Jumalan salattua viisautta ja hänen lopullisia

[11] Descartes viitannee Keplerin kolmanteen lakiin, jonka perusteella auringon säteen voi laskea trigonometrisesti, kun tiedämme vuoden eli planeetan kierron keston sekä auringon halkaisijan kulman taivaalla (Born 2010, 51).

[12] Descartes todistaa monellakin tavalla Jumalan olemassaolon, erästä näistä todistuksista käsitellään lyhyesti luvussa 7.2.

syitään. Descartes ilmaisee saman hiukan runomittaisessa muodossa lyhyessä kirjoitelmassaan *Yksityisiä ajatelmia*:

> *Jokaisen järjelle on säädetty tietyt rajat, eikä hän voi niitä ylittää (Descartes 2001, 35).*

Tai Eudoksoksen roolissa kirjoituksessaan *Totuuden tutkimus luonnollisella valolla*:

> *Esimerkiksi valkoista olisi aivan turha koettaa määritellä niin, että sokeakin ymmärtäisi sen (Descartes 2003, 315).*

Myös *Järjen käyttöohjeiden* Sääntö VIII kertoo samasta asiasta (Descartes 2001, 63-64), samoin tämä mainitaan mm. *Filosofian periaatteissa* (Descartes 2003, 46).

Descartesin mukaan aistittavat kvaliteetit ovat pikemminkin mielen tuntemuksia kuin tosiasiallisesti kappaleisiin liittyviä ominaisuuksia. Niiden kuvaaminen kappaleisiin liittyviksi saisi aikaan sekaannuksia mieleen liittyvän ja fysikaalisen maailman välillä (Rozemond 2002, 65). Descartes itsekin mainitsee *Filosofian periaatteissaan*:

> *Aistihavainnot eivät kerro siitä, miten asiat periaatteessa ovat, vaan sen, mikä on ihmisen kokonaisuudelle etua ja haittaa (…). Ne eivät kerro meille kuin toisinaan ja sattumalta, millaiset oliot ovat itsessään olemassa. Näin voitamme helposti aistien ennakkoluulot ja käytämme pelkkää ymmärrystä keskittyen huolellisesti luonnon sille suomiin ideoihin. (Descartes 2003, 70)*

Jo varhaisfilosofiassaan, kirjoituksessaan *The World*, Descartes noudatteli samaa kaavaa esimerkin avulla: kun henkilö avaa suunsa, liikuttaa kieltään ja hengittää ulos, siis toisin sanoen puhuu, on korviimme kantautuva ilmiö vain tietynlaista ilman värähtelyä. Me emme havaitse tätä värähtelyä, havaitsemme vain ihmisen laulamassa tai lausumassa runoja. Jo tämä esimerkki kertoo, että havainnot ja ilmiöt, jotka tuottavat aistiärsykkeitä, ovat Descartesille toisistaan jyrkästi eroavia asioita. (Descartes 1998, 3-5)

5.3 Intuitio ja deduktio

Kuten Rozemond toteaa, Descartes ei kirjoita paljoa perusteluita sille, miksi jokin idea on selkeä ja tarkka ja voidaan lukea intuitiiviseksi todeksi ja miksi jokin toinen on taas sumea ja epätarkka, ja voidaan sulkea pois skeptisellä metodilla (Rozemond 2002, 75). Voisi sanoa, että Descartesin teoria jää tässä keskeneräiseksi, mutta todennäköisempi selitysmalli on se, että Descartesille *intuitio* on itsensä selittävä asia. Sen selittämisen yrittäminen vain monimutkaistaisi asioita, aivan kuten logiikan (eli syllogismin) tapauksessa, joka vain pahimmassa tapauksessa hämärtää järjen valoa lisäämällä siihen tarpeettomuuksia (esim. Descartes 2001, 50).

Järjen käyttösäännöissä Descartes kirjoittaa:

> *Intuitiolla en tarkoita uskoa häilyvään aistihavaintoon enkä myöskään kuvittelukyvyn kehnosti yhdistelemää arvostelmaa, vaan puhtaan ja keskittyneen mielen saavuttamaa vaivatonta ja tarkkaa käsitystä, ettei se jätä minkäänlaista epäilyksen sijaa siihen, minkä ymmärrämme. Toisin sanoen, tarkoitan puhtaan ja keskittyneen mielen epäilyksetöntä käsitystä, jonka synnyttää vain järjen valo ja joka on jopa deduktiota yksinkertaisempi ja siten varmempi, vaikkei kukaan voi suorittaa deduktiotakaan huonosti. (Descartes 2001, 47)*

Deduktiolla tarkoitetaan kaikkea sitä, mitä voidaan päätellä jo tosiksi tiedetyistä asioista jatkuvalla ja keskeytyksettömällä ajatuksella, jonka edetessä jokaisen asian näkee edessään intuitiivisesti kirkkaalla ajatuksella (Descartes 2001, 48).

Descartes käyttää tässä sanaa intuitio ja deduktio omassa merkityksessään. Varsinkin deduktio käsitteenä liitetään tiukasti nykyaikana loogiseen päättelyyn, mutta Descartesilla se on intuitioiden yhteenliittämistä välttämättömyydellä, ei niinkään looginen prosessi.

On mielenkiintoista todeta, että tässä kohtaa Descartes määrittelee nykyajan luonnontieteelle metodin, johon hän palaa myöhemmin *Metodin esityksessä (Descartes 1994, 22-23)*. Vaikka jälkimmäisessä tekstissä hän ei käytä näitä termejä, on selvää, että Descartes kehottaa ensin yksinkertaistamaan asiat siihen saakka, kunnes pystymme näkemään yksittäiset asiat vailla epäilystä tai epäselvyyttä (**intuitio**), ja sitten noudattamaan järjestystä, josta monimutkaisemmat asiat pystytään todistamaan yksinkertaisemmista (**deduktio**). Garber kirjoittaa taas **reduktiivisesta** ja **konstruktiivisesta** metodista: reduktiivinen metodi päättyy intuitiiviseen liikkeen kokemiseen. Tästä alkaa sitten konstruktiivinen metodi monimutkaisempiin asioihin deduktiivisesti. Jokaiseen kysymykseen, jonka ihmisjärki on kykenevä ratkaisemaan, on olemassa ketju kysymyksiä, jotka johdattavat meidät intuitioon (Garber 1992, 37).

Teoksessaan *Metodin esitys* Descartes esittelee neljä sääntöä, joista varsinkin säännöt kaksi ja kolme ovat mielenkiintoisia:

> *2) Toinen sääntö oli se, että jakaisin jokaisen tutkimistani pulmista niin moneen osaan kuin mahdollista ja kuin olisi tarpeen, jotta kykenisin ne paremmin ratkaisemaan.*
>
> *3) Kolmas vaatii minua ajattelussani noudattamaan järjestystä siten, että aloittaisin kaikkein yksinkertaisimmista ja helpoimmin ymmärrettävistä seikoista ja vasta vähitellen, kuin asteittain, kohoaisin saamaan tietoa kaikkein monisyisimmistä sekä otaksuisin järjestystä olevan niidenkin seikkojen kesken, jotka eivät luonnollisesti edellytä toisiansa. (Descartes 1994, 22-23)*

Descartes esittää tässä selkeästi **analyysin** ja **synteesin** metodit. Esimerkiksi Raftopoulos näkee tässä Pappuksen, muinaisen kreikkalaisen matemaatikon vaikutuksen, Descartesin ajatteluun: Pappus julkaisi samat periaatteet jo omissa tutkielmissaan. (Raftopoulos 2003, 270).

Kirjeessään Morinille Descartes paljastaa, että hänen analyysin ja synteesin menetelmänsä ei ole kehäpäätelmä, joka todistaa ensin syyt vaikutuksista ja sitten vaikutukset syistä, koska analyysin metodia käytetään *todistamiseen*, synteesin metodia *selittämiseen*. Täten nämä kaksi tapaa eivät ole toistensa vastakohtia, mutta synteesi seuraa analyysiä, eikä tule koskaan sitä ennen. (Raftopoulos 2003, 270)

Raftopoulos päätyy siihen lopputulokseen, että Descartesin tutkimusmetodi on nimenomaan *tutkimuksen* metodi. Synteesin metodia Descartes käyttää *esityskeinona* esittääkseen lopputuloksensa niille, jotka eivät jaksa käydä pitkiä todisteluja läpi, mutta haluavat tietää lopputuloksen. (Raftopoulos 2003, 277)

Verrataanpa asiaa nykyajan luonnontieteeseen. Esimerkiksi kahden kappaleen törmäykseen, joka on tämän tutkielmaan keskeisimpiä teemoja: aivan kuten Descartes, nykyfysiikkakin kehottaa havainnoimaan esineistä oleelliset ominaisuudet. Kappaleissa on monenlaisia ominaisuuksia, kuten niiden geometrinen muoto, väri, paino tai huokoisuus. Vaikka ne monessa fysiikan tutkimuksessa voivat olla olennaisiakin ominaisuuksia, silti kahden kappaleen törmäyksessä, olettaen, että törmäys on ”täysin kimmoisa”, ainoat ominaisuudet joita tarvitaan, ovat **massa** ja **nopeus**, tai Descartesin fysiikassa **tilavuus** ja **nopeus**. Aivan kuten nykyajan fysiikassa eräänlainen idealisaatio on ”täysin kimmoisan” kappaleen oletus, Descartesin fysiikassa taustaoletuksena on se, että kappale on kauttaaltaan yhtä harva tai tiheä (Tarkemmin asiasta luvussa 10.4).

Erot nykyajan fysiikkaan tulevat esille **deduktiossa**, asioiden ketjuttamisessa ja yhdistämisessä. Kuten olen muualla todennut (luku 7.2), sekä Descartesin filosofia, että hänen luonnontieteiden käytäntönsä ei liitä toisiinsa **deduktiota** ja **kvantitatiivista metodia**. Nykyajan fysiikka taas yhdistää ne. Kappaleelle voidaan esimerkiksi määrittää liikemäärä massan ja nopeuden tulona (P=mv) ja liike-energia kaavalla $E = \frac{1}{2}mv^2$. Soveltamalla näihin kaavoihin algebrallisia sääntöjä ja deduktiivisesti (sanan nykyaikaisessa, ei Descartesin määrittelemässä merkityksessä) päättelemällä niistä puuttuvien suureiden suuruus päästään käsiksi haluttuun lopputulokseen, eli yleensä tuntemattoman suureen suuruuden selvittämiseen. Garberin mukaan ei kuitenkaan ole täysin selvää, miten Descartesin metodit toimivat. Esitys jää hiukan epäselväksi ja vajaaksi (Garber 1992, 34-35). Descartes käyttää jopa termiä suure:

> *Edelleen on huomattava, ettei tähän (suhteiden samanlaisuuden) yhtäläisyyteen voida palauttaa mitään muuta kuin se, joka on mielekästä sanoa suuremmaksi ja pienemmäksi ja joka sisältyy sanaan **suure.** (Descartes 2001, 95)*

ja

> *Vaikka voidaan sanoa, että yksi olio on toiseen verrattuna enemmän tai vähemmän (…), **emme kuitenkaan pysty täsmälleen ratkaisemaan, onko poikkeama kahden vai kolmen suhde yhteen** ja niin edelleen, paitsi rinnastamalla sen analogisesti jonkin kappaleen, jolla on muoto, ulottuvaisuuteen. (Descartes 2001, 96)*

Tämä jälkimmäinen lainaus vahvistaa jo tässä tutkielmassa muutoinkin esitettyä teesiä (luku 7.2): Descartes ei tuntenut erityistä vetoa kvantitatiiviseen päättelyyn luonnontieteissä. Descartesin mukaan emme pysty päättelemään, onko jokin ääni esimerkiksi kaksi kertaa niin korkea kuin jokin toinen ääni, paitsi tekemällä analogian kappaleen ulottuvaisuuteen. Descartes esittää säännöissä **XIV** ja **XV** (Descartes 2001, 102-104) useita neuvoja, miten suuruuksia voidaan kuvata pisteillä, viivoilla ja suorakulmioilla, mutta se, miten analogia itse asiassa muodostetaan, jää hiukan epäselväksi. Descartes paljastaa mielenkiintoisen seikan seuraavassa lainauksessa:

> *Pyrin välttämään sanan kvantiteetti käyttöä, koska muutamat filosofit ovat niin hienovaraisia, että erottavat senkin ulottuvaisuudesta. (Descartes 2001, 100)*

Descartes ei suostu myöntämään, että olioille voitaisiin antaa jotakin suuretta kuvaava luku kierrättämättä sitä analogisesti **kappaleen ulottuvaisuuden** kautta. Tämä teema toistuu läpi koko Descartesin filosofian. Miten esimerkiksi suure nimeltä *äänen korkeus* voidaan palauttaa ulottuvaisuuteen? Descartesilla on vastaus tähänkin:

> *Kielet A, B ja C antavat kaikki yhtä korkean äänen, kun oletetaan seuraavaa: B on kaksi kertaa niin paksu kuin A, mutta ei pidempi, ja sitä pingotetaan kaksi kertaa niin raskaalla painolla kuin A:ta; C taas ei ole A:ta paksumpi, mutta sen sijaan kaksi kertaa niin pitkä, ja sitä pingotetaan neljä kertaa niin raskaalla painolla. (Descartes 2001, 90)*

Nykyään tiedämme, että äänen palauttaminen ulottuvaisuuteen ei ole kovinkaan hyödyllistä: Esimerkiksi kielen jännitysvoima ei ole suoraan verrannollinen siinä roikkuvaan painoon (Jansson 2002, 4).

5.4 Ulottuvaisuuden merkitys Descartesin fysiikassa

Kirjoituksessaan *Metafyysisiä mietiskelyjä* Descartes myös toteaa, että aineellisissa kappaleissa on varsin vähän sellaista, minkä hän käsittää selkeästi ja tarkasti, nimittäin kolme ulottuvuutta, pituus, leveys ja korkeus, lisäksi muoto, kappaleiden sijainti toiseensa nähden ja liike, substanssi, kesto ja luku. Muut kappaleiden havainnointiin vaikuttavat ominaisuudet, kuten valot, hajut, maut, lämpö ja kylmyys ilmenevät Descartesin mukaan niin sekavina ja hämärinä aisteille, ettei niistä tiedä, ovatko ne tosia vai epätosia (Descartes 1994, 108).

Descartesille *geometria* on sekä matematiikan, filosofian että itse todellisuuden keskiössä. on äärimmäisen tärkeää huomata, että sana *geometria* viittaa tässä tapauksessa nimenomaan kappaleen konkreettiseen ekstensioon eli ulottuvaisuuteen, ei siihen abstrahoituun matematiikan haaraan, jota nykyään tällä termillä pääsääntöisesti nykyään tarkoitetaan. Moorman on jopa kirjoittanut, että Descartes antoi geometrialle samanlaisen todellisuuden kuin Pythagoras antoi numeroille. Myös Descartes itse kirjoittaa kirjeessään Mersennelle, että hänen fysiikkansa on pelkkää geometriaa, oli sitten kyse suolasta, lumesta tai sateenkaaresta (Moorman 1943, 304). Lumen sulaminen, suolan maku ja sateenkaaren kirkkaus ovat samanlaisia ominaisuuksia kuin Descartesin kuuluisan mehiläisvahan ominaisuudet:

Aluksi mehiläisvahassa on aistittavissa hunajan makeus ja aavistuksen verran kukkien tuoksua, se on kylmä, kova, ja se antaa äänen sitä naputtaessa. Kun sen vie lähelle kynttilää, se muuttuu nestemäiseksi ja kuumenee, sen haju ja väri muuttuu, siitä ei lähde enää ääntä naputtaessa - toisin sanoen kaikki ominaisuudet joista tunnistamme mehiläisvahan, paitsi sen ulottuvuus, ovat muuttaneet olemustaan, emmekä silti epäile, että vaha olisi lakannut olemasta tai muuttunut toiseksi aineeksi. (Descartes 1994, 96)

Tämä ulottuvaisuuden pitäminen ensimmäisenä kriteerinä meni Descartesin fysiikassa äärimmäisyyksiin. Tyhjää tilaa ei ole itsenäisenä, vaan kaikki on pelkkää ainetta (luku 8.3). Painovoima on jyrkän materialistinen paineilmiö (liite 2). Valo koostuu taivaan pallosista (Descartes 2003, 126). Magnetismi on ”uurteisten hiukkasten” liikettä (Descartes 2003, 258). Aivot kontrolloivat lihaksia aineellisten ”elonhenkien”[13] avulla, jotka ovat ikään kuin kevyttä tuulta tai ilmaa, joka liikkuu hermostossa (Descartes 2005, 30). Jopa eläinten sielut ovat verta, materiaalista ainetta (Descartes 2001, 289), vaikka toisaalta tämän tekstikappaleen voi tulkita siten, että eläinten ”sielu” on vain eräänlainen vertauskuva ”toimivalle kellokoneistolle”. Descartes hahmottelee myös, vaikkakin hyvin suuripiirteisesti ja epämääräisesti, teoriaa lämmöstä kappaleen partikkeleiden liikkeenä, joka toimii edeltäjänä nykyisin hyväksytyille teorioille lämmöstä (liite 5).

Esimerkiksi John Cottingham määrittelee Descartesin **reduktionistiksi**, ihmiseksi, joka yrittää palauttaa kaikki havaittavat ilmiöt tiettyihin suppeisiin perusperiaatteisiin. Kuten Descartes itse kirjoittaa:

Magneeteilla ja tulella on hämmästyttäviä ominaisuuksia, jotka poikkeavat niistä ominaisuuksista, joita me yleensä havaitsemme muissa kappaleissa (…). Olen johtanut tässä teoksessani näiden ja monien muiden ilmiöiden syyt (jotka uskon täysin ilmeisiksi) periaatteista, jotka ovat tuttuja ja kaikkien hyväksymiä. Nämä periaatteet ovat ainehiukkasten muoto, koko, sijainti ja liike (...). Koko luonnossa ei ole mitään(…), mille ei voitaisi johtaa selitystä näistä samoista periaatteista. (Cottingham 1997, 11)

[13] Suomentajan selityksessä selvitetään, että nimestään huolimatta *elonhenget* ovat materiaalisia paineilmiöitä (Descartes2005, 377).

Voidaan sanoa, että Descartesin eräällä tavalla jyrkällä ja ehdottomalla materialismilla oli varmasti tiedettä ja tekniikkaa edistävä vaikutus. Kappaleiden liikkeen syyn täytyi olla kappaleessa itsessään ja sen ympärillä olevissa kappaleissa, joten viittaukset ”Jumalan tahtoon” tai ”luonnolliseen paikkaan” tai ”teleologiseen pyrkimykseen” oli hylättävä. Sairauksien takana on ruumiin epäkunto, eivät henget ja sieluntilat tai planeettojen epäsuotuisa asento. Nykyään on kuitenkin vankkoja perusteita uskoa, on olemassa myös fysikaalisia kvantiteetteja, jotka eivät palaudu materian ulottuvuuteen, kuten sähkömagneettiset aallot, gravitaatiovoimat, ääniaallot, magnetismi sekä monet kvanttimekaaniset ja suhteellisuusteoriaan liittyvät ilmiöt. Tässä mielessä Descartesin tieteenihanne on osoittautunut riittämättömäksi.

Tom Sorellin mukaan Descartes ei ollut ensimmäinen, joka esitteli geometrista fysiikkaa: esimerkiksi Galileilla oli samansuuntaisia ideoita, mutta Descartes oli ensimmäinen, joka noudatti geometrisen selittämisen kokonaisvaltaista loogista ankaruutta fysiikassaan. (Sorell 1996, 2)

Eräs tämän ulottuvaisuutta korostavan filosofian hedelmä, Descartesin pyörreteoria aurinkokunnasta (Descartes 2003, 113), jossa aurinko kuljettaa koko aurinkokuntaa mukanaan samanlaisessa pyörteessä, joka muodostuu kahden eri suuntiin virtaavan vesimassan rajalla (Descartes 2003, 145-146), oli luultavasti ensimmäinen yritys selittää, miksi aurinkokunnan sisemmät planeetat kiertävät aurinkoa nopeammin kuin ulommat (Garber 1992, 132).

Yritys oli kunnianhimoinen, mutta sillä oli monia ongelmia. Myös Isaac Newton kirjoitti näistä: mikäli haluamme tietää, että mikä oli esimerkiksi Jupiterin paikka vuosi sitten, meillä ei ole mitään keinoa määrittää sitä, sillä pyörteessä olevat partikkelit ovat jatkuvasti kontaktissa toisiinsa ja täten niiden suunta ja sijainti muuttuvat koko ajan (Slowik 1998, 369). Tähtitiede osoitti kuitenkin jo tuohon aikaan, että taivaallisten objektien sijainti ja liikkuvuus on hyvin säännönmukaista.

Newtonin kannattama malli, jossa tyhjiöön sijoitetut partikkelit liikkuvat olematta jatkuvassa kontaktissa toisiinsa ja vaikuttavat toisiinsa gravitaatiovoiman avulla, tuntuu fysikaalisessakin mielessä selittävän aurinkokunnan säännölliset liikkeet paremmin kuin Descartesin pyörreteoria. Pyörrettä on todella hankala kuvailla matemaattisesti. Itse asiassa, Descartes itse uskoo ettei tämä ole edes mahdollista, erottaen ”mekaanisen” ja ”geometrisen” liikkeen. *Geometriassaan* hän kertoo:

> *Antiikin matemaatikoille olivat tuttuja lukuihin, suoriin, ympyröihin ja kartioleikkauksiin liittyvät ongelmat. Olen silti yllättynyt, miksi he eivät menneet pidemmälle monimutkaisempiin käyriin, enkä myöskään ymmärrä sitä, miksi he kutsuivat tällaisia monimutkaisia käyriä mekaanisiksi, eivätkä geometrisiksi (…) Ehkä todellinen selitys tälle on, että ensimmäiset käyrät jotka kiinnittivät heidän huomionsa olivat mm. spiraalit, jotka todellakin kuuluvat vain mekaniikkaan, ja joita ei siksi kuulu mielestäni käsitellä tässä (matematiikkaa koskevassa tutkimuksessa), koska ne kuvaavat kahden erillisen liikkeen vaikutusta, joiden suhteeseen ei voida soveltaa täsmällistä ennustamista. (Descartes 1954, 42-44)*

Tässä (virheellisessä) tieteellisessä arvioinnissa, että kahden erillisen liikkeen suhdetta ei voida ennustaa tai kuvailla tarkasti, on kauaskantoisia ja vahingollisia vaikutuksia myös Descartesin fysiikkaan[14], sillä heittoliikkeen paraabeliin tutkimiseen ei pääse käsiksi millään muulla tavalla kuin kuvaamalla kahden erillisen liikkeen eli pystysuoran ja vaakasuoran liikkeen vuorovaikutusta.

On erittäin mielenkiintoista, että Descartes kirjoittaa ”täsmällisestä ennustamisesta” ja erottaa sen ”mekaniikasta” mikä paljastaa, että ainakaan kaikki fysiikan ilmiöt eivät ole ennustettavissa. Kuitenkaan paraabeli ei kuulunut näihin ilmiöihin. Arvoitukseksi jää, esiintyykö luonnossa Descartesin mielestä mitään puhtaita paraabelin mukaisia liikkeitä vai onko paraabeli vain matemaattinen idealisaatio, jonka soveltaminen käytännössä olisi hyvin vaikeaa. Ottaen huomioon Descartesin innottomuuden kvantitatiivisiin menetelmiin luonnollisten ilmiöiden selittämisessä, jälkimmäinen tulkinta on todennäköisempi.

5.5 Hypoteesit Descartesin järjestelmässä

Descartes puhuu varsin vähän siitä, minkälaiset päätelmät ovat ”tosia” tai ”todellisuutta vastaavia”. Olemme muualla todenneet, että kaikki Descartesin intuitioon ja deduktioon perustuvat selkeät ja kirkkaat havainnot ja päätelmät ovat jollakin tapaa mutkattomasti yhteydessä todellisuuteen (luku 5.3). *Filosofian periaatteissaan* Descartes joissakin harvoissa kohdissa kuitenkin puhuu hypoteeseista, syistä ja niiden yhteyttä totuuteen. Kokonaisuus on varsin mielenkiintoinen:

[14] Tarkemmin näistä vaikutuksista, kts. Domski 2009, s. 121, 129.

XLIII: voi tuskin käydä niin, etteivät syyt, joista kaikki ilmiöt johdetaan selvästi, olisi tosia. (Descartes 2003, 120)

Selityksessä Descartes mainitsee, että kaikkein ilmeisimmistä tosiseikoista oivalletut periaatteet pitävät täysi yhtä luonnonilmiöiden kanssa, jo Jumalan rooli järjen luojana puhuu sen puolesta. Seuraava periaate kuitenkin yllättää:

XLIV: Tahdon kuitenkin, että tässä esittämiäni syitä pidetään pelkästään hypoteeseina. (Descartes 2003, 120)

Selityksessä hän mainitsee, että vaikka hypoteesi olisikin virheellinen, jos kaikki mitä siitä voidaan johtaa, pitää yhtä kokemuksen kanssa, on se riittävää. Hypoteesista on Descartesin mukaan ”yhtä paljon hyötyä elämässä kuin itse totuuden tietämisestä”. Seuraavakin sääntö selittää tilannetta:

XLV: Oletan tässä myös jonkin verran sellaisia syitä, joiden tiedetään olevan epätosia. (Descartes 2003, 120)

Descartes viittaa tässä siihen, että ei ole epäilystäkään, etteikö maailmaa olisi alusta asti luotu kaikkine täydellisyyksineen, kuten kristinusko vakuuttaa. Emme silti voi arvella hänen koskaan tehneen mitään, mikä ei olisi jokaisen yksityiskohtansa puolesta aivan loppuun saakka valmista. Tästä syystä voimme keksiä periaatteita, joista maailmankaikkeus olisi voinut saada alkunsa aivan yhtä hyvin kuin Jumalan valmiiksi tekemänä (Descartes 2003, 121), vaikka tietenkään asia ei näin ollut, kuten Raamattu meille selkeästi ilmoittaa *Genesiksessä,* 1. Mooseksen kirjassa. Sama idea tulee esille myös *Metodin esityksessä* Maailman luontia koskevassa kysymyksessä:

En kuitenkaan halunnut päätellä kaikesta tästä, että tämä maailma olisi luotu juuri esittämälläni tavalla (väistämättömien luonnonlakien tuloksena), sillä on paljon todennäköisempää, että Jumala on sen alussa tehnyt sellaiseksi kuten pitikin (…). Voidaan nähdä että niiden (aineellisten olioiden) luonto on paljon helpompi käsittää, kun ne nähdään tällä tavoin vähitellen syntyvinä, kuin jos ne katsottaisiin kerralla valmiiksi luotuina. (Descartes 2001, 148)

On syytä muistaa, että Descartes mainitsi tämän kaiken koskien nimenomaan vain tähtitiedettä ja maailman syntyä. Hän mainitsee vielä hypoteettisen metodin tärkeyden neljännen osan alussa koskien maan syntyä ja rakennetta (Descartes 2003, 190). Ristiriitaa luo se, että hypoteesi oli kuitenkin Descartesille jotakin epävarmaa, ”mahdollisesti paikkansa pitävää” tai ”todennäköistä” väitettä, jollaista Descartes ei voinut hyväksyä. Esimerkiksi *Metodin esityksessään* hän kirjoittaa:

> *Ensimmäinen sääntöni oli se, etten koskaan ota totena mitään sellaista, minkä en ilmiselvästi tiedä olevan totta. (Descartes 2001, 131)*

Näiden syiden, jotka Descartes esittää esim. maailman synnystä, ei tarvitse sinänsä olla tosia, mutta ne voidaan ”olettaa tai sepittää”, jotta päättelyt helpottuisivat. Näin Descartes puolustaa hypoteesien suhteen tietynlaista *instrumentalistista* käsitystä: maa ei välttämättä ole syntynyt pyörteistä ja hiukkasista, mutta Jumala on luonut maailman sellaiseksi, että asiat voidaan järjellä johtaa ensimmäisiin hypoteeseihin, jotka voisivat selittää asian *ikään kuin* ilman Jumalaa.

Nähtävästi Descartesin mielestä esimerkiksi maailmankaikkeuden havainnointi esimerkiksi siinä mielessä, että Jumalan olemassaolo yritettäisiin todistaa, olisi turhaa: Jumala on luonut maailman niin täydelliseksi, että se pystyisi periaatteessa toimimaan itsestään. Tästä syystä luonnosta on turha etsiä Jumalaa havainnoimalla, ja toisaalta ateisti ei löydä luonnosta mitään ristiriitaista ateismiinsa nähden.

6. Filosofian kehittyminen

Tässä luvussa esitän lyhyesti Descartesin filosofian ja tieteen roolin laajemmassa viitekehyksessä. Mitä on hylätty ja mitä on säilynyt, ja mikä on yleinen mielikuva Descartesin roolista tieteen ja filosofian kehityksessä?

Descartes uskoi lujasti tulevaisuuteen ja positiiviseen kehitykseen ja intoutui pohtimaan tulevaisuuden visioita luomansa järjestelmän hyödyistä: Opittuamme tuntemaan meitä ympäröivien kappaleiden syyt, voiman ja vaikutuksen, voimme käyttää näitä voimia ja vaikutuksia käytännön tarkoituksiin, voimme ”päästä luonnon herroiksi ja valtiaiksi nauttiaksemme maan hedelmistä ja säilyttääksemme terveytemme sekä välttääksemme ruumiin ja mielen sairauksia ja kenties jopa vanhuuden heikkouden” (Descartes 1994, 56).

Descartesin optimistisuus muistuttaa tältä osin esimerkiksi teollisen aikakauden alkua, jolloin jotkut ihmiset visioivat jokaiselle ihmiselle loputonta vaurautta tai tietoteknisen ajanjakson alkua, jolloin jotkut ihmiset haaveilivat ihmisen kaltaisista tai jopa älykkäämmistä koneista, jotka tekisivät kaikki ikävät työmme puolestamme. Tätä Descartesin optimismia ”tieteen ja teknologian kehityksen mahdollistamassa inhimillisen elämänlaadun paranemisessa” on tuotu esille myös monissa yleisluontoisissa filosofian teoksissa, kuten esimerkiksi teoksen ”Mitä on filosofia?” kahdessakin eri kohdassa (Rydenfelt, Kovalainen 2010, 7, 254). Ei ole vaikea nähdä, että Descartes nähdään nykyajankin tieteessä ja filosofiassa nimenomaan positiivisen kehityksen sanansaattajana.

Descartesilla on selkeä käsitys filosofian (jota tässä yhteydessä tarkoitetaan kaikella tieteen ja filosofian symbioosilla, Descartesin ”tiedon puulla”) kehittymisestä. Descartesin mukaan saamme tietoa ainoastaan neljällä tavalla:

1) Omaksumalla itsestään selviä totuuksia (esim. ”kolmiossa on kolme kulmaa”)
2) Saamalla aistitietoa maailmasta (esim. ”palava puu on kuuma”)
3) Keskustelemalla toisten ihmisten kanssa
4) Hyvää opetusta tarjoavien kirjojen lukeminen

Monet suuret filosofit ovat Descartesin mukaan yrittäneet etsiä ns. ”viidettä tietä” tietoon. Descartes ei sitä esittele, mutta todennäköisesti tarkoittaa jonkinlaista henkilökohtainen mystisismi, ”tieto, jota ei voi pukea sanoiksi” tai tietyn poliittisen tai metafyysisen uskomuksen seuraaminen sisäisen vakuuttuneisuuden varassa (Descartes haluaa kristittynä kuitenkin tehdä selväksi, että tämä ei koske jumalallista ilmoitusta eli kristillistä uskoa ja sen oppeja, jotka omaksutaan uskon varassa), mutta Descartes ei ollut löytänyt vielä ketään, joka tällaista tietoa olisi kyennyt löytämään. (Descartes 2003, 26-27)

On huomattava, että Teoksessa *Järjen käyttöohjeet* Descartes mainitsee, että *kokemus* ja *deduktio* ovat tiedon saavuttamisen keinot (Descartes 2001, 45). Nämä todennäköisesti puhuvat samasta asiasta, sillä kokemus, tai pikemminkin intuitio, vastaa aistitiedon saamista maailmasta, ja deduktio taas tarkoittaa itsestään selvien asioiden omaksumista. Vaikka se tehdään vaiheittain, se tavallaan ymmärretään myös kokonaisuutena, eikä esimerkiksi loogisen analyysin avulla, kuten olemme jo aiemmin todenneet. Säännöt 3) ja 4) taas pikemminkin tukevat sääntöjä 1) ja 2), eivätkä sinänsä tarjoa muita mahdollisuuksia kuin suunnata sääntöjen 1) ja 2) tutkimuskohteet tarkemmin ja hyödyllisemmin.

Descartes ei itse esittele mitään yhtä häikäisevää totuutta, jonka hän ainutlaatuisena nerona kykenisi meille tarjoamaan. Hän sitä vastoin kritisoi liian innokkaita opiskelijoita, jotka ”kiiruhtavat liikaa” (Descartes 2003, 31). Filosofia on prosessi, ei yksittäisen neron päättelemiä oikeita totuuksia, joihin kenelläkään muulla ei ole enää mitään lisättävää. Tämä tietynlainen holistisuus on tärkeä osa Descartesin laajempaa ajattelua. Descartes ei ole päätepiste, jollainen oli mm. Aristoteles aikoinaan: nero, jonka teoksiin sisältyy olennaisesti kaikki tieteellinen tieto ja filosofia, ja joihin voidaan kirjoittaa korkeintaan joitakin reunahuomautuksia. Päinvastoin, Descartes oli alkulähde uuden tieteellisen tiedon virralle. Hän kirjoitti:

> *Tiedän myöskin hyvin, että saattaa kulua useita vuosisatoja ennen kuin näistä periaatteista on johdettu kaikki totuudet, jotka niistä voidaan johtaa, koska useimmat niistä, jotka jäävät löydettäviksi, ovat riippuvaisia erityisistä kokemuksista, joita ei koskaan kohdata sattumalta vaan hyvin älykkäiden ihmisten on etsittävä niitä huolellisesti ja kuluja säästämättä. (Descartes 2003, 36)*

Voidaan tietysti kysyä, toteutuiko tämä Descartesin ihanne tieteestä älykkäiden ihmisten yhteistyönä ja ajallisena prosessina käytännössä hänen elämässään. Descartes tuntui olevan melko ylimielinen varsinkin lahjakkaiden, eri mieltä olevien tiedemiesten ja filosofien kanssa ja ajautui riitoihin mm. Beeckmanin ja Regiuksen kanssa tieteellisistä ja metafyysisistä asioista. Kun hänelle huomautettiin siitä, että Pyhä Augustinus oli jo sivunnut hänen ensimmäistä totuuttaan,

”Ajattelen, siis olen”, kiiruhti hän heti toteamaan, että kyse on aivan eri asiasta (Descartes 2002, 330-331). Myös Galileota hän arvosteli myös tylysti (luku 10.9) ja vältteli vastaamasta Thomas Hobbesin esittämiin kiusallisiin kysymyksiin sivuuttaen ne kevyesti (Descartes 2002, 8).

Descartesin fysiikka ei säilynyt kauaa yleisesti hyväksyttynä fysiikkana. Vuonna 1693 Catherine Descartes, Descartesin veljentytär kirjoitti Descartesin kuolemaa kuvailevassa runossaan:

Miten muodot, aksidenssit
Aristoteleen tuomitaan;
kuinka kolmet elementit,
Pyörteenikin suomitaan (Descartes 2005, 371)

Newtonin *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* julkaistiin vuonna 1687 ja se sisälsi tärkeimmät Newtonin gravitaatiota ja kappaleiden liikkeitä sisältävät teoriat ja laskelmat. Kuten runonpätkän hengestäkin huomataan, ehti Newtonin teos jo lyhyessä ajassa kehittää itselleen vakaan kannattajakunnan ja mikä tärkeintä, se ei ole ainakaan niin näkyvässä ristiriidassa itsensä kanssa, kuten Descartesin fysiikka (luvut 10.10, 10.11) ja varsinkin tähän sisältyvä pyörreteoria aurinkokunnasta (kts. luku 5.4). Lisäksi tärkeää oli se, että Newtonin fysiikka osasi oikeasti ennustaa lukuja ja suureita, esimerkiksi planeettojen kiertoajat[15], putoamisliikkeen nopeudet ajan funktiona tai heittoliikkeen geometrian, joita voitiin verrata todellisuuteen. Sen sijaan kahden kappaleen ongelma, joka Descartesin fysiikassakin on tärkeä ongelma, pystyttiin pääosin ratkaisemaan ennen Newtonia mm. Huygensin ja Leibnizin ansiosta (luku 10.11). Myös useat muut fysiikan teorioiden ja havaintojen uudelleentulkinnat johtivat Descartesin filosofian hylkäämiseen. Useita niistä mainitaankin muissa vaiheissa tätä tutkielmaa.

Descartesille ei luultavasti tullut mieleenkään, että vaikka hänen roolinsa uuden tieteen kehittäjänä oli tärkeä, hänen fysiikkansa oli lähes totaalinen harha-askel tieteen polulla ja jälkipolvi hylkäisi sen teoriat lähes täydellisesti. Yleensä Descartes muistetaan mainita uuden ajan filosofian kehittäjänä, mutta ei muisteta, että hänen fysiikkansa kannusti tulevaisuuden tieteentekijöitä tutkimaan, mistä painovoima johtuu (liite 2), miksi planeetat kiertävät auringon ympäri (luku 5.4) tai miten toisiinsa törmäävät kappaleet reagoivat toisiinsa (luku 10.4), ja mitä aine ja avaruus oikeastaan ovat (luku 8.4).

[15] Tähän pystyi myös Kepler, mutta Newton johti nämä samat taivaanmekaniikan lait mekaniikan peruslaeista ja löysi siinä ohessa muitakin asiaan liittyviä lakeja.

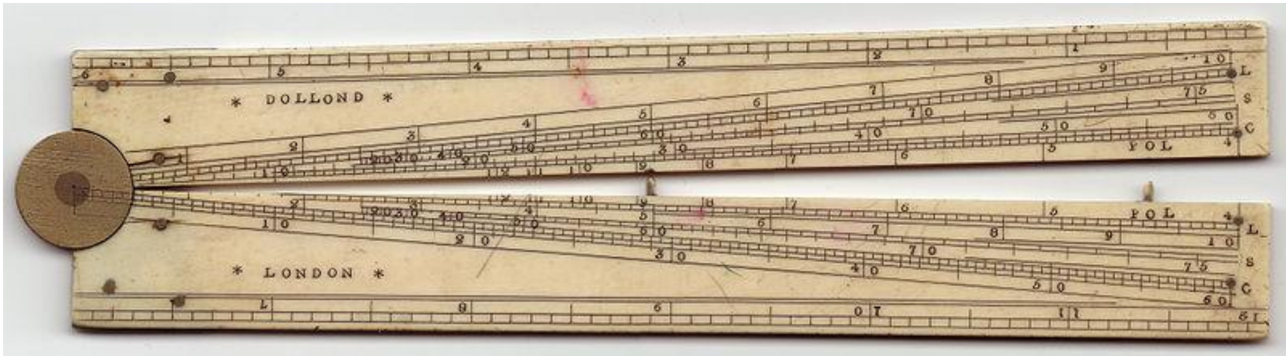
Vaikka Descartes itse antoi näihin kysymyksiin nykytietämyksen mukaan lähes täydellisen väärät vastaukset, on näiden kysymysten esittäminen ja niiden vastausyritykset ”matematiikasta johdettujen periaatteiden avulla” ollut hyvin tärkeää fysiikan kehityksen kannalta, niin kankeita kuin Descartesin yrittämät ensimmäiset versiot näistä olivatkin.

7. Descartesin matematiikan filosofia

Tässä luvussa käsitellään Descartesin matematiikan filosofiaa. Mistä lähtökohdista ja millaisin metafyysisin taustaoletuksin Descartes kehitti matematiikkaansa, miten matematiikka kytkeytyy todellisuuteen ja mikä on kvantitatiivisen metodin rooli tieteessä? Yksi luvun päätarkoituksista on todistaa, että kvantiteetin ja todellisuuden välillä ei ole samanlaista suoraviivaista kytköstä kuin nykyajan fysiikassa, vaan kaikki palautuu jälleen kerran kappaleen ekstensioon. Lisäksi esitellään Descartesin matematiikan muita filosofisia merkityksiä Descartesilla. Niitä ovat mm. asioiden yksinkertaistaminen, muistamisen helpottaminen ja jopa tietynlainen henkinen itsekehitys selkeän ajattelun harjoittamisen kautta.

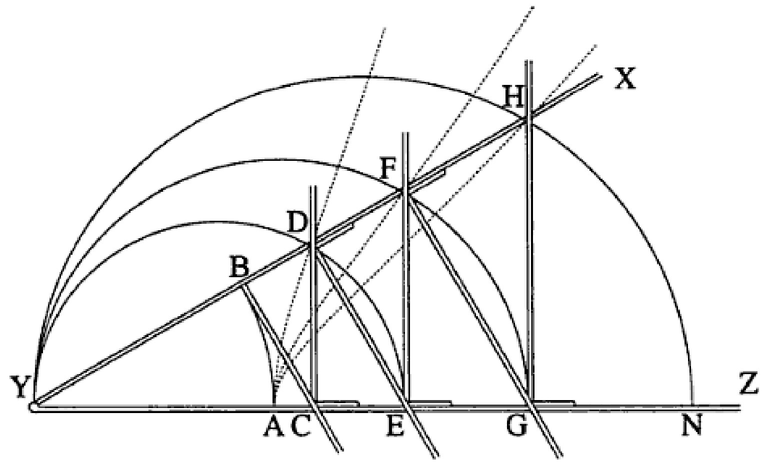
7.1 Geometrian empiiriset juuret

Gaukroger esittää mielenkiintoisen teorian siitä, että Descartesin idea suhteiden ajattelemisesta geometrian avulla ei syntynyt yksistään rationaalisen päättelyn perustalta, vaan tuohon aikaan kehitetystä *sotilaskompassista* (proportional compass), eräänlaisesta harpin ja laskutikun yhdistelmästä. Näiden samaan aikaan näkyvien mittakaavojen avulla pystyi geometrisesti ratkaisemaan navigoinnin ja kartanluvun ongelmia, jotka olivat ennen vaatineet paljon laskentaa (Gaukroger 2002, 7) ja tämä saattoi vaikuttaa huomattavasti Descartesin ajatuksiin, mitkä johtivat tämän uuden matematiikan alan syntyyn.



Kuva 1. Sotilaskompassi (Lähde: Wikipedia)

Descartesin *Geometriassa* esiintyy hyvin paljon sotilaskompassiin periaatetta muistuttava piirustus, jonka pohjalta Descartes rakentaa analyyttista geometriaansa:



Kuva 2. Sotilaskompassin periaatetta muistuttava kaavakuva (Descartes 1954, 46).

Tarkemmin sotilaskompassin geometrian vaikutuksesta Descartesin matematiikkaan kertoo *Sepper* kirjassaan *Proportion, images, and the activity of thinking.* Menemättä matemaattisiin yksityiskohtiin on hyvin perusteltua sanoa, että Descartesin koko matematiikka perustuu **suhteiden** tarkasteluun (Sepper 1996, 67). Sepper ei jaa Gaukrogerin jyrkkää mielipidettä Descartesin matematiikasta ainoastaan ”retorisena” mallina vaan huomauttaa, että Descartes antoi kovasti tunnustusta myös Gioseffo Zarlinon tutkimukselle suhteisiin perustuvasta musiikin teoriasta (Sepper 1996, 62). Siispä matematiikalla on Sepperin mukaan yhtymäkohtia todellisuuteen enemmän kuin vain metodologisesti, se on enemmän kuin retorista vertailua. Myös liitteessä 1 käydään läpi eräs Descartesin matemaattiseen fysiikkaan liittyvä saavutus.

Descartes ei teoksissaan, myöskään *Geometriassaan*, formalisoinut karteesista koordinaatistoa, mutta asetti tälle kvalitatiivisen ihanteen teoksessaan *Metodin esitys:*

> *Tahdoin etsiä vähän aikaa muita totuuksia, valitsin tarkasteltavakseni geometrikkojen tutkimuskohteen ja tajusin sen kontinuumiksi, pituudeltaan, leveydeltään ja korkeudeltaan eli syvyydeltään äärettömiin ulottuvaksi avaruudeksi. Tämän voidaan ajatella jakautuvan erimuotoisiin ja –suuruisiin sekä kaikin tavoin liikkuviin ja transponoituviin osiin; sellaiseksi näet geometrikot otaksuvat tutkimuskohteensa (Descartes 1994, 36)*

Geometrian formaliikan kehittymättömyys aiheutti haittaa Descartesin ajatusten leviämiselle. Kirjassaan *Geometria* Descartes uhrasi peräti kaksi kirjaa eli noin 100 sivua kolmesta teoksen sisältämästä kirjasta paraabelin ominaisuuksien kuvaamiseen. Tämän hän teki tavalla, jonka pystyy ymmärtämään vain todella kokenut matematiikan harjoittaja. Tässä yhteydessä on vaikea puhua ”yksinkertaisimmasta asiasta, minkä voi esittää mielikuvitukselleen ja aisteilleen”. Asia olisi huomattavasti uskottavampi, jos jo Descartesin aikaan olisi ollut käytössä karteesinen koordinaatisto ja muut yksinkertaiset analyyttisen geometrian apuvälineet. Nykyään paraabelin yhtälö kuuluu lukion lyhyen matematiikan ja joskus jopa yläasteen oppimäärään, joten formaalisesti vaikeasta asiasta ei ole yksinkertaisimmillaan kyse. Toki Descartes käsittelee paljon myös paraabelin harvinaisempia ominaisuuksia, mutta häneltä puuttuivat tarpeeksi kehittyneet työkalut, jotta hän olisi voinut selittää haluamansa tarpeeksi yksinkertaisesti.

7.2 Matematiikan ikuisista totuuksista

”Jumala oli vapaa valitsemaan, että kaikki ympyrän säteet eivät ole yhtä pitkiä”, julisti Descartes Mersennelle eräässä kirjeessään (Dutton 1996, 203). Tällä hän otti osaa siihen filosofiseen kysymykseen, ovatko tietyt välttämättömät jollain lailla Jumalan yläpuolella, että esimerkiksi 3+4=7, ja tähän raamiin Jumalan oli sovitettava luomistyönsä. Jumala luomisessaan kuitenkin teki nämä lait tarpeelliseksi (Dutton 1996, 203). Koska Jumala täydellisyydessään kuitenkin on mieltään muuttamaton, Jumala sääti nämä lait ikuisiksi ja muuttumattomiksi. Siksi Descartes käytti mennyttä aikamuotoa ”oli”. Jumala on näin päättänyt, eikä enää muuta mieltään, sillä se osoittaisi puutetta ja vajavaisuutta. Descartes oli sitä mieltä, että missä tahansa Jumalan luomassa maailmassa nämä välttämättömyydet olisivat tosia (Dutton 1996, 205). Ikuisten totuuksien, kuten matemaattisten itsestäänselvyyksien valinta ei tietenkään voinut olla sattumanvaraista.

Descartesin päättelyssä on jotain, joka muistuttaa Leibnizin ”parasta mahdollista maailmaa”. Descartes ei kuitenkaan Leibnizin lailla liitä määrettä ”paras” Jumalan luomiin välttämättömiin lakeihin. Olisi aivan liian röyhkeää arvostella Jumalaa omilla normeillamme, ikään kuin hän olisi kuningas tai ”superihminen” (Dutton 1996, 169). Descartesin *Mietiskelyjä ensimmäisestä filosofiasta* vahvistaa tämän siteen Leibnizin ja Descartesin välillä:

> *Mieleeni tulee myös, että tutkiessamme, ovatko Jumalan työt täydellisiä, on otettava huomioon koko olioiden kaikkeus eikä erikseen jotain yhtä luontokappaletta. Sillä*

jokin, mikä ehkä hyvinkin näyttäisi kovin epätäydelliseltä, jos se olisi yksinään, on mitä täydellisintä maailman osana. (Descartes 2002, 60)

Tämä tutkielma ei keskity Leibnizin ja Descartesin yhtäläisyyksien etsimiseen, mutta on huomattava, että Leibniz on Descartesia myöhäisempi filosofi ja monelta osin tutustunut Descartesiin hyvin, kuten myöhemmin toteamme Leibnizin karteesisen fysiikan kritiikissä (luku 10.11).

Descartes oli tavallaan väärässä siinä, että Jumala pystyisi luomaan halutessaan ristiriitaisia asioita, kuten Leon Henkin todisti vuonna 1947:

Lausejoukko on ristiriidaton jos ja vain jos sillä on malli. (Miettinen 1995, 57)

Tämän todistuksen välitön seuraus on, että ristiriitaista mallia ei ole olemassa. On matemaattisen varmaa, ettei maailmaa, jossa ympyrän eri säteet ovat eri pitkiä, ole olemassa, ainakaan tässä maailmassa vallitsevan matematiikan mukaisesti. Ympyrän yhtälö voidaan muodostaa (modernilla formaliikalla, jota Descartes ei tuntenut) seuraavalla tavalla:

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

Tässä piste (x_0;y_0) on ympyrän keskipiste, (x;y) ympyrän reunan koordinaatti ja r säde. Jos nyt oletamme, että kohdassa (x_1;y_1) ympyrän säde onkin erisuuri kuin r, niin lause on ristiriitainen alkuperäisen yhtälön kanssa ja ilman mallia (sisältöä). Näin ollen Jumala oli vapaa valitsemaan, että kaikki ympyrän säteet eivät ole yhtä pitkiä vain jos ei ollut luomassa maailmaa, sillä ristiriitaista maailmaa ei ole olemassa. Kuitenkin kiistatta maailma Descartesin mukaan on olemassa, joten Jumala ei ollut vapaa valitsemaan tätä lakia. Tietysti voidaan aina kysyä, eikö Jumala pystyisi luomaan maailmaa, jossa vallitsevan matematiikan mukaan ristiriitaisellakin lausejoukolla olisi malli.

Descartesin käsitys matematiikan varmuudesta ei ole yksiselitteinen. Aikaisemmassa filosofiassaan Descartes piti mm. aritmeettisia laskutoimituksia varmoina, mutta myöhempinä vuosinaan hän kirjoitti, että voimme joka tapauksessa erehtyä laskiessamme jotain, vaikka pidämme itse laskujamme varmana ja meillä on niistä kirkas ja selkeä idea (Gaukroger 2002, 72). Myös Bermúdez on päätynyt samaan lopputulokseen (Bermúdez 1997, 746). Esimerkiksi teoksessaan

Filosofian periaatteet, jonka hän julkaisi vuonna 1944, Descartes kuvaa matematiikan epävarmuutta seuraavasti:

> *Epäilemme myös muuta sellaista, mitä ennen pidimme mitä varmimpana(…). Näin siksi, että olemme nähneet joidenkin joskus erehtyneen näissä asioissa ja hyväksyneen varmana jotain sellaista, mikä näytti meiltä epätodelta. (Descartes 2003, 38)*

Descartesin matemaattinen järjestelmä ei ole ei ole vain irrallinen tieteen alue, jonka hän sattui ensimmäisenä keksimään, sekalainen tieteellinen saavutus muiden joukossa. Se on perusta ja apuväline sille tärkeimmälle asialle, jonka hän mainitsee moneen kertaan *Metodin esityksessään*: tiedon varmuuden tavoittamiselle. Myös yksinkertaisuus, selkeys, tarkkuus ja käytännöllisyys ovat tämän uuden tieteen kehittämisessä tärkeimpiä tavoitteita.

On selvää, että Descartes oli suuri matemaatikko. Hänen kirjansa *Geometria* kuuluu vielä nykyäänkin matematiikan klassikoihin samoin kuin esimerkiksi Eukleideen *Alkeet*. Hän myös panosti tähän tieteenalaan merkittävästi. Ei ole tietenkään syytä vähätellä myöskään Descartesin metafysiikan osaamista, jo Descartesin suorittama La Flèchen jesuiittakoulu sisälsi kokonaisen vuoden pelkästään metafysiikan opintoja. Lisäksi on muistettava, että matematiikaksi käsitettiin tuohon aikaan myös mm. optiikka, tähtitiede ja musiikki (Clarke 2006, 19).

Descartesin oma kirjoitus tukee näkemystä, jossa matematiikka käsitetään laajemmaksi kokonaisuudeksi kuin nykyään:

> *Tarkoitukseni ei kuitenkaan ollut tätä tarkoitusta varten perehtyä kaikkiin niihin tieteisiin, joita tavallisesti sanotaan matematiikaksi(…) ja vaikka niillä on eri kohteet, ovat ne sopusoinnussa keskenään sikäli, että ne eivät ota huomioon mitään muuta kuin niistä löytyvät eri suhteet ja verrannot. (Descartes 1994, 23)*

Tämä huomio on tärkeä selittäessämme Descartesin suhdetta matematiikkaan ja todellisuuden kuvailuun sen avulla.

Kieltämättä tämän päivän näkökulmasta hänen metafysiikkaa käsittelevät työnsä ovat vähintään yhtä merkittäviä kuin hänen matemaattisten alojen teoksensa, joista ainoastaan *geometria* ja osittain *optiikka* ovat säilyttäneet arvonsa nykyajan matemaattisten ja luonnontieteiden näkökulmasta arvioituna. Descartesin toteamus paljastaa kuitenkin, kuinka merkittävä osa matematiikalla- ymmärrettynä laajasti- on Descartesin ajattelussa.

Descartes käsitti itsensä ennen kaikkea filosofiksi. Silti on tärkeää huomata, että hänen mielestään tiede on filosofiaa. On jopa niin, että tiede on vain osa filosofiaa, joka itsessään on kaikkien tietojen ja taitojen yhdistelmä. Descartes itse kirjoitti filosofiasta:

> *Filosofia ei ole pelkästään järkevyyttä eri toimissa vaan kaikkien ihmisten tiedettävissä olevien asioiden täydellistä tuntemusta, niin elämän opastukseksi kuin terveyden vaalimiseksi ja kaikenlaisten taitojen keksimiseksi. (Descartes 2003, 24)*

Filosofia on hänelle ”viisauden tutkimista”, joka käsittää kaiken mitä ihminen voi tietää. Filosofia laajassa skaalassa on kuin puu, jonka juuret ovat metafysiikassa, runko on fysiikka ja oksat ovat eri tieteenhaaroja. Moormanin mukaan Descartes käyttää termiä ”filosofia” myös suppeammassa merkityksessä, luonnonfilosofiana, joka käsittää kaikki tapahtumat fysikaalisessa todellisuudessa. Esimerkiksi Descartes lukee *optiikan* ja *meteorologian* filosofian osiksi (Moorman 1943, 296-297). Edellä mainitun Clarken toteamuksen mukaan ainakin *optiikka* luettiin myös matematiikan osaksi, joten on todennäköistä, että Descartesin ajan Ranskassa rajat tieteenalojen väleillä eivät olleet niin selvästi rajattuja kuin nykyään. Olihan oppinut henkilö tuolloin tyypillisesti monen tieteenalan yhtäaikainen harjoittaja, joista selkeitä esimerkkejä ovat Descartesin itsensä lisäksi myös hänen filosofiaansa voimakkaasti vaikuttaneet Isaac Beeckman , Marin Mersenne ja Henricus Regius.

Kuitenkin kaikista tieteistä Descartesille vain matematiikassa, ja erityisesti geometriassa, on tyypillistä samanaikainen hedelmällisyys ja täydellinen tyydytys, puhdas ilo (Moorman 1943, 298).

Descartes oli luultavasti ensimmäinen, joka yritti luoda kokonaista matemaattista maailmankuvaa. Silti hänen filosofiassaan on jotain outoa, joka ei tunnu soveltuvan yhteen hänen tunnetun periaatteensa kanssa:

> *En hyväksy enkä kaipaa fysiikkaan muita periaatteita kuin geometriasta tai matematiikasta johdetut, sillä niillä saadaan selitettyä kaikki luonnonilmiöt ja voidaan esittää niille varmat todistukset. (Descartes 2003, 100)*

Näin Descartes selitti filosofisten periaatteidensa toisen osan lopuksi: kirjoituksen, joka sisälsi tiivistettynä kaikkein tärkeimmät Descartesin liikettä ja liikeratoja koskeva säännöt. Teos ei sisältänyt yhtään laskutoimitusta tai yhtälöä, vaan lähes pelkästään Aristoteleen tyylistä kvalitatiivista ilmiöiden selittämistä. Slowikin mukaan Descartes jopa tuntuu käsittävän matematiikan mallina, jonka metodia tulisi jäljitellä pikemminkin kuin välineenä, jolla asioiden ominaisuuksia voitaisiin vertailla keskenään (Slowik 1998, 233). Descartes itse kirjoittaa lyhyesti:

> *Tässä käyttämäni todistukset ovat nähdäkseni yhtä varmoja ja ilmeisiä kuin geometriset (Descartes 2002, 23)*

Tässä kirjoituksessa sana ”kuin” herättää pohdintaa. Descartes ei tunnu samaistavan kvantitatiivista metodia omaan metodiinsa, mutta mainitsee kummankin pätevyyden totuuden saavuttamisessa.

Tämä kirjoitus ei kuitenkaan yksin selitä Descartesin kvalitatiivista lähestymistapaa, sillä hän kuvailee ”suhteita ja verrantoja” esimerkiksi tähtitieteessään tai fysiikassaan häviävän vähän.

Filosofian periaatteissaan Descartes samaistaa ne kappaleiden ominaisuudet, joista meillä on kirkas ja selkeä idea, matemaattisiin objekteihin. On tärkeä huomata, että hän samaistaa niiden *varmuuden*, ei metodia. Rozemondin mukaan mekaanisten kvaliteettien varmuus ei riipu siitä, ovatko ne *kvantifioitavissa*, esitettävissä lukuina ja suureina, vaikka perinteisesti niin on haluttu kuvitella *(*Rozemond 2002, 76-78). Kvantifioituvuus on vain yksi esimerkki, muistamiseen tai taloudellisuuteen liittyvä metodi tai joidenkin mukaan jopa retorinen viite tiedon varmuuden saavuttamisesta.

Rozemond ei ole ainoa, joka on esittänyt asian tällä tavalla, samaan johtopäätökseen ovat (tosin eri reittiä) päätyneet myös Gaukroker ja Lenoir (luku 7.4). Toisaalta Cottingham väittää, että kvaliteettien varmuus on nimenomaan niiden kvantifioituvuus (Cottingham 1997, 41), mutta tälle tulkinnalle en ole löytänyt yhtä vakuuttavia perusteluita. Silloin harvoin, kun Descartesin matematiikalla oli kosketuspintaa fysikaalisen todellisuuden kanssa (kts. luku 7.1), kyse on lähinnä yksittäisistä tutkimuksista, joita Descartes ei sovita laajemmin filosofiaansa.

Descartes ei täysin arkaillut käyttää geometrisia todistuksia luonnon kuvailussa. Nämä todistukset, kuten Descartesin analyysi vinoa pintaa pitkin etenevän kappaleen liukuvoiman vähenemisestä maapallon pallonmuodosta johtuen (kts. liite 1) kätkeytyvät hänen vähemmän tunnettuun kirjeenvaihtoonsa. On kuitenkin totta, että kokonaisuudessaan Descartesin uuden tieteen ihanne ei realisoidu hänen kirjoissaan. Descartes on loistava matemaatikko ja etevä selittämään asioita kvalitatiivisesti, mutta näiden kahden osa-alueen synteesi kvantitatiiviseksi fysiikaksi ei yllä samalle tasolle kuin esimerkiksi hänen aikalaisellaan Galileo Galileilla.

Yhdestä asiasta voidaan olla suhteellisen varmoja: Descartes ei ollut ns. platonistinen tai pythagoralainen matemaatikko, jolle matemaattiset suureet ja luvut ovat joko verrattavissa reaalisiin esineisiin tai jopa mieluummin reaalisuudessaan niiden yläpuolella – näkökulma, jonka moni huippumatemaatikko on historian saatossa jakanut. Hän kirjoittaa:

> *Jopa aritmetiikka ja geometria pettävät meitä tässä (kappaleiden muotoa käsittelevässä ongelmassa), vaikka ne ovat kaikkein varmimpia aloja. Kukapa matemaatikko ei näet ajattelisi, että luvut ovat kuvittelussakin todella erotettavissa kaikista subjekteistaan eivätkä vain järjen niistä abrahoimia? Ja kukapa geometrikko ei hämärtäisi tutkimuskohteensa ilmeisyyttä ristiriitaisilla periaatteilla väittäessään, että viivoilta puuttuu leveys ja pinnoilta paksuus? (Descartes 2001, 99)*

ja

> *Edellä viittasin jo siihen, etteivät pinta ja viiva ole käsitettävissä aidosti kappaleesta erillisiä eivätkä toisistaankaan. (Descartes 2001, 101)*

Kaikki palautuu Descartesin käsitykseen ulottuvaisuudesta. Descartesilla ei ole olemassa ulottuvaisuutta sinänsä irrallaan kappaleesta.

Descartes tuntuu käyvän ongelmaan käsiksi toista kautta kuin nykyajan fysiikka, jossa liikeyhtälöitä pidetään, jos ei metafyysisellä, niin ainakin käytännön tasolla itsenäisinä objekteina: reaalimaailma on se, josta kaikki erehtymättömät intuitiot tulevat. Logiikka ja kappaleisiin liittyvät kvantiteetit, joita ei voida palauttaa ulottuvaisuuteen, eli myös matemaattiset pinnat ja viivat vain *haittaavat* ongelman ratkaisemista tarpeettomalla jakamisella. Tämä ulottuvaisuuteen palauttaminen koskee mitä moninaisimpia asioita, kuten esimerkiksi äänen korkeutta (luku 5.3).

Eukleides totesi, että sitä, minkä ymmärrämme esimerkiksi kolmioksi, ei voida palauttaa komponentteihinsa tai ominaisuuksiinsa, vaan kolmio voidaan käsittää vain samanlaisuuden ja erilaisuuden käsitteiden avulla, ja siksi kolmio yksikkönä ei ole yksilöllinen vaan pikemminkin vastaavuusluokka (ekvivalence class). Euklidinen avaruus on tietomme mahdollinen kohde, koska sen erottelujen keskinäinen määräytyneisyys tekee siitä kokonaisuuden. (Grosholz 1986, 119) Grosholzin mukaan juuri tämä idea on vaikuttanut paljon Descartesin matematiikan filosofiaan.

Moorman toteaa vastaavanlaisesti, että *järjestys* on Descartesin matematiikalle hyvin tärkeä idea. Matematiikan objektit voidaan laittaa sarjaan, jolloin kaikki osat voidaan tietää suhteessa toisiin osiin. (Moorman 1943, 300)

Geometria on Descartesille tapa linkittää mieli ja aine, sielu ja ruumis (Grosholz 1986, 120). Ymmärrämme kappaleen liikkeen sen avulla, eikä kappaleen osat ole liittyneitä toisiinsa millään muulla lailla kuin niiden *suhteiden* avulla (Grosholz 1986, 121). Geometria, jonka avulla ymmärrämme nämä suhteet ja sen kautta liikkeen, ei kuulu selkeästi aineelliseen maailmaan sen enempää kuin sieluunkaan ja toimii näin siltana näiden kahden välillä (Grozholz 1986, 120).

Descartesin dualismi, sielun ja ruumiin jyrkkä kahtiajako on aiheuttanut Descartesin filosofiassa runsaasti ongelmia. Esimerkiksi mielenliikutuksia käsittelevässä kirjoituksessaan hän kirjoitti, että sielun toiminnot vaikuttavat ruumiiseen ja päinvastoin nimenomaan aivojen keskellä olevan rauhasen kautta. Hän ei nimeltä mainitse rauhasta, mutta kuvauksesta voidaan päätellä sen olevan *käpyrauhanen.* (Esim. Descartes 2005, 380, huomautus 24) Perusteluksi hän mainitsee, että muita aivon osia näyttää olevan kaksi, ja samoin aistinelimiämmekin on yleensä kaksi, ja täytyy siis olla jokin paikka jossa ne sulautuvat yhdeksi ennen kuin tulevat sieluun (Descartes 1994, 170).

Toisaalta Descartesin mukaan sielu on liittyneenä ruumiin kaikkiin osiin yhteisesti (Descartes 2005, 40), sillä miten muuten voisimme tuntea kipua, eikä vain nähdä purjehtijan lailla veneensä ja todeta vain tietoisella tasolla, että jokin on mennyt rikki (Cottinghan 1997, 48)? Tähän teoriaan, joka tuntuu Descartesillakin jääneen osittain keskeneräiseksi[16], ovat Descartesin vastustajat monesti tarttuneet (esim. Spinoza 1994, 273). Miten Descartes, joka on niin vakuuttanut hyväksyvänsä vain selkeimmät ja kirkkaimmat havainnot ja periaatteet, ottaa filosofiaansa tämän hyvin kyseenalaisen teorian?

Vaikka Grozholzin mukaan Descartesilla olikin selkeästi pyrkimyksiä tehdä geometriasta ratkaisevan tekijän dualisminsa selittämisessä, hän ei selkeästi mainitse asiaa missään teoksissaan. Lisäksi hänen intonsa selittää ihmisruumiin toimintoja, vaikka Descartesin ajan fysiologia oli monin paikoin hyvin virheellistä, johti väistämättä teorioihin, jotka ovat hyvin herkästi kritisoitavissa.

[16] Liitteessä 2 mainitaan mielenkiintoinen ote kirjeenvaihdosta, joka sivuaa Descartesin dualismin ja kappaleiden painon teemaa.

Ideat kappaleiden muodon selkeydestä ja tarkkuudesta johtavat jopa Descartesin Jumalan olemassaolon todistukseen[17], sillä äärettömän substanssin idea ei voi Descartesin mukaan tulla mistään muualta kuin äärettömästä substanssista, koska Descartes itse ymmärtää havainnoivansa selkeästi ja tarkasti vain äärellisiä muotoja. Silti matematiikkansa kautta hänellä on aivan yhtä selkeä ja tarkka idea äärettömästä (Descartes 1994, 108).

7.3 Matematiikan algoritminen merkitys Descartesin filosofialle

Matematiikalla on vahva merkitys Descartesille monessa suhteessa. Erityisesti tämä tulee esille analyyttisen menetelmän yksityiskohdista.

Descartes päättää hylätä mielipiteet, joissa on pienikin epäilyksen aihe, aivan samalla lailla kuin ne mielipiteet, jotka ovat ilmeisen epätosia. Näin mielipiteitä ei tarvitse käydä läpi yksitellen, joka olisikin ehkä mahdoton tehtävä niiden suuren määrän takia, vaan perusteiden romahtaessa romahtaisi myös kaikki siitä johdettavat mielipiteet. (Descartes 2002, 32)

Analogia matematiikkaan on ilmiselvä kahdellakin tavalla: ensiksi matematiikassa pienikin virhe on aivan yhtä paha kuin suuri virhe, se muuttaa automaattisesti todistuksen epäpäteväksi. Mitään, mikä perustuu ”todennäköisyyksiin” tai ”luuloihin” tai ”perinteisiin” ei voida hyväksyä. Kaikki, mitä on rakennettu virheellisen argumentin varaan romahtaa, jos argumentti romahtaa.

Toiseksi, matematiikassa ja siihen pohjautuvassa tietotekniikassa, samoin kuin Descartesin filosofiassa, on tärkeässä osassa ns. ”taloudellisuuden periaate”. Epätodeksi tai todeksi pyritään aina todistamaan mahdollisimman yleistävä lause, koska tämän epätodeksi tai todeksi todistaminen todistaa automaattisesti epätodeksi tai todeksi myös suurimman joukon tämän yleisen lauseen alle sijoittuvia erikoistapauksia.

On melko epäkäytännöllistä, jos jokin asia todistetaan vain kokonaisluvulle 32. Parempi, jos jokin asia todistetaan niille kokonaisluvuille, jotka ovat jaollisia luvulla 16. Kaikkein paras, jos asia todistetaan kaikille kokonaisluvuille a.

Descartes jopa vertaa ajatustaan Arkhimedeen ajatuksiin: Arkhimedes tunnetusti pyysi vain yhtä kiinteää ja liikkumatonta pistettä, jotta voisi liikuttaa maailmaa. Samoin hän voi toivoa suuria, jos löytäisi edes jotain aivan pientä, joka on varmaa ja horjumatonta. (Descartes 2002, 37) Siispä

[17] Tässä yhteydessä on hyvä huomata, että tämä ei ole Descartesin ainoa tai edes kuuluisin todistus Jumalan olemassaolosta.

filosofisia väitteitä tulee kohdella kuten matemaattisia todistuksia: sen sijaan, että niiden puolesta yritettäisiin löytää kyllin vakuuttavia todisteita, tulee pikemminkin kaikin voimin etsiä niistä virheitä ja epätäsmällisyyksiä. Matematiikassa tämä on hyvin hyödyllinen metodi, sillä virheet ja epätäsmällisyydet voidaan ehkä korjata, ja siten lauseen todenperäisyys voidaan vahvistaa niin, että uskaliaimmatkaan skeptikot eivät kykene sitä epäilemään. Descartes yrittää luoda filosofiassa varmuudeltaan matematiikan kaltaista järjestelmää.

7.4 Matematiikka ja muistaminen

Lenoir on esittänyt mielenkiintoisen teorian eräästä matematiikan metodologisesta puolesta: muistamisen ja oppimisen, johon kaikki matemaattinen harjoittelu ohjautuu. Descartesin mukaan, jos voisimme nähdä, miten tieteet kytkeytyvät toisiinsa, ei niiden mielessä pitäminen olisi sen vaikeampaa kuin lukusarjan muistaminen (Sorell 1996, 10). Matematiikka on osa tätä Descartesin uskomattoman positiivista tieteenkuvaa. Lenoirin mukaan Descartesin aikana heräsi paljon kiinnostusta Aristoteleen syllogismin soveltamisesta oppimisen, muistamisen ja keksimisen metodologiaan.

Esimerkiksi Cicerolta, jota luettiin suurella kiinnostuksella Descartesin aikoihin, on peräisin eräs nykyajankin käytännön psykologiassa suosittu tehokeino: kuvien ja niihin liittyvien sisältöjen ja fyysisten paikkojen liittämistä toisiinsa, joka helpottaa esimerkiksi pitkien puheiden pitämistä. Osan puheesta voi ”varastoida” mielessään tiettyihin fyysisiin paikkoihin, joita katsomalla muistaa helpommin puheensa ydinkohdat ja näin vapauttaa työmuistin resursseja. Lenoir tekee analogian Descartesin analyyttiseen geometriaan, jossa viivoille ja niiden suhteille annetaan nimet, ja joka helpottaa niiden muistamista. Se myös mahdollistaa niiden välisten suhteiden tutkimisen ja uuden keksimisen. (Lenoir 1979, 368) Esimerkiksi puhuja voi etukäteen tutustua paikkaan, jossa aikoo pitää puheensa ja ”varastoida” eri osia puheensa ideoista näkyvillä oleviin objekteihin, jolloin muistaminen helpottuu.

Ei ole kuitenkaan suoria todisteita siitä, että Descartesilla olisi ollut matematiikkaa luodessaan tämänkaltaisia ideoita (Lenoir 1979, 370). Toisaalta Descartesin jesuiittakoulutukseen kuului mm. Cyprian Soarezin kirjoittama *De Arte Rhetorica* vuodelta 1577 (Clarke 2006, 18), joka käsitteli myös muistamisen keinoja. Siten on mahdollista, että tällaisia vaikutteita on ollut. Itse uskon Lenoirin lailla, että Descartesin matemaattinen menetelmä on hänelle myös oppimisen ja muistamisen apuväline.

Descartes kirjoittaa monissa kohdissa asioiden järjestämisen tärkeydestä (Descartes 2002, 32). Idea on selvä: järjestää kaikki niin tiiviiseen muotoon kuin mahdollista, jotta muistaminen helpottuisi.

Myös *Järjen käyttöohjeissa* hän kertoo **säännössä XII**, vaikka vain ymmärrys kykenee saavuttamaan totuuden, tarvitsee se kuvittelukyvyn, aistien ja muistin apua (Descartes 2001, 76).

Säännössä XVI hän kirjoittaa myös melko yksitulkintaisesti:

> *Muisti on kuitenkin usein epävarma ja siksi onkin mainiota, että kirjoitustaito on keksitty, joten meidän ei tarvitse käyttää osaa tarkkaavaisuudestamme muistin virkistämiseen paneutuessamme muihin ajatuksiin (…) merkitsemme asiat muistiin lyhyillä merkeillä, jolloin voimme yhdennentoista (säännön) mukaisesti käydä ne kaikki läpi erittäin nopealla ajatuksen liikkeellä ja nähdä niistä mahdollisimman monta yhdellä kertaa. (Descartes 2001, 105)*

Näin voidaan tehdä ainoastaan, jos tarkasteltavat asiat asetetaan mitta-asteikolle, ennen kuin voidaan todeta, että mitä tapahtuu pienillä mittasuhteilla, tapahtuu suurillakin.

Myös Lenoir huomauttaa, että Descartesille mitta ja järjestys ovat asioita, joita voidaan soveltaa kaikkiin kysymyksiin (Lenoir 1976, 371). Descartes yrittää selvästi luoda *yhteismitallisuutta* eri olioiden välille.

Tämä tukee olettamusta, että Descartes käytti matematiikan esimerkkiä enemmänkin metodologisena mallina varmuuden saavuttamisesta sekä muistin apuvälineenä ja oman toiminnan optimoijana, eikä loppuun asti kuljettavana polkuna. Toisin on nykyajan fysiikassa, jossa kvalitatiivinen tai yksittäisten esimerkkien kautta tapahtuva selittäminen nähdään aina puutteena, joka pitää korjata. Tämä osittain ehkä selittää myös sen, miksi Descartesin matemaattisen metodin ihailun ja hänen luonnonlakien formalisoinnin välillä on niin suuri kuilu, jota monet pitävät peräti ristiriitaisena. Toinen tätä näkemystä tukeva kirjoitus voidaan havaita Descartesin *Järjen käyttöohjeet*-teoksessa:

> *Aritmetiikan ja geometrian lisäksi kannattaa opiskella muutakin. Niiden, jotka etsivät suoraa tietä totuuteen, ei kuitenkaan kannata paneutua minkään sellaisen kohteen tutkimukseen, josta he eivät voi saada aritmeettisten ja geometristen todistusten* ***veroista*** *varmuutta. (Descartes 2001, 45)*

Nimenomaan sana *veroista* kiinnittää taas huomion (vrt. sivu 31). Tarkoitetaanko tässä, että **intuitio**, puhtaan ja keskittyneen mielen saavuttama vaivaton ja tarkka käsitys, joka ei jätä minkäänlaista epäilyksen sijaa (Descartes 2001, 47) ja **deduktio**, joka on monivaiheinen prosessi, johon liittyy järjen liike ja jonka avulla pystymme yhdistämään keskenään kaksi asiaa, jos intuitiollamme näemme, että se on välttämätöntä (Descartes 2001, 85), Descartesin filosofian kaksi tapaa hankkia tietoa (Descartes 2001, 45), ovat samalla lailla selkeitä ja varmoja prosesseja kuin pätevä matemaattinen todistus, jota ei pystytä enää kumoamaan millään tavoin, kun se on kerran pätevästi todistettu? Myös saman teoksen toisessa kohdassa Descartes kirjoittaa, että haluaa esittää luvut ja numerot *verhona*, ei niinkään tavanomaisena matematiikkana, pukeakseen ne ihmisjärjelle soveliaampaan asuun (Descartes 2001, 51).

Kolmaskin asia tukee sitä, että Descartes piti matematiikkaa vain esimerkkinä ja metodologisena tapana varmuuden saavuttamisesta, ei ihanteena itsessään. Matematiikan asiantuntijana Descartes oli hyvin todennäköisesti tutustunut muihinkin lukujärjestelmiin kuin siihen intialaisperäiseen järjestelmään, josta nykyaikainen, jo vuosisatoja ennen Descartesin aikaa vakiintunut lukujärjestelmämme on peräisin. Lähes kaikille aikaisemmille lukujärjestelmille on yhteistä se, että *nollaa* ei tunnettu ja luvut ilmaistiin enemmän tai vähemmän Descartesin ilmoittamalla geometrisella tavalla, kuten roomalaisessa tai babylonialaisessa lukujärjestelmässä.

Vaikka suuremmille luvuille, kuten 10, 100 tai 1000 voidaan keksiä erityiset symbolit, silti suurten lukujen (esimerkiksi 19 999) ja laskutoimitusten ilmaiseminen tällä tavalla on hyvin vaikeaa. Miten voidaan geometrisella tavalla todeta itsestään selvästi, mitä tulee laskun 376+834 tulokseksi? Vaikeudet hahmottaa asioita täsmällisesti hiukankin suurempien lukumäärien tapauksessa todistavat, että geometria ei voi olla ainoa oikea tapa lähestyä matematiikkaa. Gaukroger kertoo jopa, että Descartesin yritys mallintaa tietoa matematiikan avulla on suorastaan retorinen viittaus, eikä niinkään reaalinen (Gaukroger 2002, 10).

7.5 Matematiikan spirituaalinen merkitys Descartesille

Matthew Jones on esittänyt Descartesin matematiikan jopa henkisenä harjoituksena, jonka päätarkoitus on parantaa sairas sielu, ja tämä parantuminen tarvitsee jonkin tavan, jolla sielu saavuttaa selkeän ajattelun ja havaintokyvyn työn, harjoituksen ja askeesin avulla. Jones viittaa mm. Ciceron ajatuksiin filosofian tervehdyttävästä vaikutuksesta (Jones 2001, 42), Descartesin omiin ajatuksiin matemaattisten metodien ja matematiikan harjoituksen erinomaisuudesta (Jones

2001, 44) ja matematiikan hajanaisuudesta 1600-luvun Euroopassa, jota Descartes jyrkästi kritisoi (Jones 2001, 45), ja joka sai hänet kehittämään jyrkästi uudenlaisen matematiikan, joka tutkii vain suuruuksien välisiä suhteita.

Filosofialla ja tieteillä on epäilemättä Descartesille syvällinen henkinen merkitys, joten Jonesin päätelmä voi hyvinkin pitää paikkansa. Vuonna 1616 (Davis, Hersh 1988, 3), 20-vuotiaana, Descartes näki merkillisen unisarjan, johon liittyi runokirja, josta hän luki säkeen ”Quod vitae sectabor iter?” (Mitä elämäntietä seuraan?) sekä epätäydellinen tietosanakirja. Herättyään Descartes vakuuttui siitä, ettei näin outo uni voinut tulla muualta kuin ylhäältä[18], ja tulkitsi tämän siten että runokokoelma tarkoitti filosofian ja viisauden yhdistämistä ja epätäydellinen tietosanakirja kaikkien tieteiden kokonaisuutta, jonka valmiiksi saattaminen olisi hänen kohtalonsa. (Cottingham 1997, 18-19) Edes menemättä niihin spekulaatioihin, jotka liittävät Descartesin unen symboliikan esimerkiksi ruusuristiläisten salaseuraan, on tieteillä ja filosofialla, viisaudella ja sen yhdistämisellä, tärkeä elämäntavallinen, jopa mystinen merkitys.

Descartes ei ylistänyt matematiikkaa kokonaisuudessaan. Se on ilmeistä etenkin hänen syllogistiikkaa kohtaan esittämänsä kritiikin pohjalta (Descartes 2001, 89*).* On kuitenkin ilmeistä, että matematiikan harjoituksella oli jonkinlainen metodologinen merkitys Descartesin ajattelussa. Kerran hän kirjoitti prinsessa Elisabethille, että hän käyttää muutamia tunteja vuodessa metafyysisiin pohdintoihin, mutta joitakin tunteja joka päivä matematiikan, kappaleiden muodon ja liikkeen pohtimiseen. (Gombay 2007, 12) Tässä nähdään selvä arvojärjestys, miten Descartesin mukaan mielen selkeyttä tulisi harjoittaa.

7.6 Descartesin matematiikan oikeutus

Mitä voimme jälkiviisaina todeta Descartesin järjestelmästä? On huomattava, että on vain hypoteesi, että voisimme ratkaista geometriset ongelmat algebralla. Emme voi olla varmoja, että geometrinen ongelma on ratkaistavissa algebralla tai toisinpäin, tai edes siitä, että algebra antaa meille oikean tuloksen geometrian ongelmasta. Mikä oikeutus meillä on ”olettaa suhteet ja relaatiot” viivoiksi tai tasoalueiksi tai N-ulotteisen koordinaatiston tila-alueiksi?

Lopullisen vastauksen tähän kysymykseen löysi loogikko-filosofi Alfred Tarski, joka vuonna 1931 todisti, että jokaiselle ratkaistavalle geometriselle ongelmalle on myös algebrallinen todistus

[18] Ilmeisesti tässä tarkoitetaan jonkinlaista ”jumalallista ilmoitusta”.

(Davis & Hersh 1988, 5). Descartes on siis koko ajan ollut oikeassa. Tulos ei ole käytännössä niin merkittävä kuin filosofisessa mielessä, sillä algebrallisen todistuksen olemassaolo ei takaa, että voisimme löytää sitä, tai että tulos olisi käytännössä laskettavissa, esimerkiksi jos todistus on niin pitkä, ettei edes tietokoneen laskentateho riitä sitä ratkomaan.

On olemassa monia matematiikan lauseita, jotka odottavat ratkaisua, koska tietokoneiden laskentateho ei yksinkertaisesti riitä ratkaisemaan niitä, niin mielellään kuin matemaatikot haluaisivatkin löytää aina todistuksen, johon ei tarvittaisi tietokoneen raakaa laskentatehoa. Esimerkiksi Catalanin konjektuurin tai kartan väritysongelman[19] ratkaisemiseen on vaadittu matemaattisen todistuksen lisäksi myös paljon tietokonelaskentaa, joka ei ikinä onnistuisi kynällä ja paperilla.

Lisäksi voidaan todeta, että aika harva matemaatikko on geometrian ja algebran yhteensopivuutta koskaan asettanut kyseenalaiseksikaan. Kyseessä oli samanlainen hypoteesi kuin esim. Rollen lause[20] tasogeometriassa: ilmiselvästi tosi lause, vaikka todistusta ei kukaan pystyisi löytämään.

[19] Kartan väritysongelma kysyy, kuinka monta väriä tarvitaan mielivaltaisen kartan värittämiseen siten, että naapurivaltiot eivät koskaan ole väritetty samalla värillä. Ratkaisuun vaadittiin aikaa yli 1200 tietokonetuntia sen ajan parhaimmistoon kuuluvalla supertietokoneella (Appel & Haken 1976, s. 147). Vastaus on, että neljä väriä riittää kaikissa mahdollisissa tilanteissa.

[20] Rolle lause väittää, että jatkuvassa ja derivoituvassa funktiossa, joka lähtee ja päätyy nolla-arvosta, on vähintään yksi piste, jonka derivaatan arvo on nolla. Tämä yksinkertainen ja ilmiselvästi tosi lause todistettiin verrattain myöhään, vasta vuonna 1691.

8. Liike ja sen relativismi

Relativismi on tärkeä osa Descartesin luonnonfilosofiaa. Olemme edellisissä luvuissa selvittäneet Descartesin matematiikan ja fysiikan filosofiaa ja siihen kytkeytyen etenkin kvantiteettisten metodien ongelmia. On aika siirtyä varsinaisen fysiikan käsitteisiin, joista käsittelen etenkin *liikettä*. Huomaamme, ettei Descartesin liikkeen relativistinen tulkinta ole loogista ainakaan matemaattisesti tarkasteltuna, mutta toisaalta substanssien ja substanssien ominaisuuksien analyysi antaa aihetta olettaa, että Descartes on kenties sittenkin ollut täysin johdonmukainen tutkimuksissaan. Lisäksi tarkastelemme muutamia Descartesin filosofian ja suhteellisuusteorian yhtäläisyyksiä ja huomaamme, että paikoin Descartes on ollut modernimpi kuin Newton. Descartesin ja Einsteinin teorioiden vertailu on kuitenkin hyvin ongelmallista.

8.1 Liikkeen määritelmä

Descartes määrittelee kappaleen liikkeen seuraavasti:

> *(Liike on) aineen yhden osan eli yhden kappaleen siirtymistä sitä välittömästi koskettavien ja liikkumattomina tarkasteltavien kappaleiden läheisyydestä toisten kappaleiden läheisyyteen (Descartes 203, 80)*

Tässä yhteydessä on huomattava, että varhaisessa teoksessaan *Järjen käyttöohjeet* Descartes mainitsee, että aristoteliset määritelmät liikkeestä ”potentiaalisen aktualisoitumisena” ovat täysin turhia määritelmia, sillä kaikki tietävät, mitä liike on, eikä sitä edes voida määritellä. Se on yksinkertainen käsite, jota varten emme tarvitse mitään määritelmää. Liike on todella yksinkertainen käsite, sillä jopa viivat ja pinnat voidaan määritellä sen avulla (Garber 1992, 157-158). Descartes siis tässä kumoaa oman aikaisemman väitteensä *määrittelemällä* liikkeen. Joka tapauksessa huomionarvoista Descartesin liikkeen määritelmälle on tietynlainen relativismi: liikkuvassa laivassa seisova ihminen on laivan näkökannasta liikkumaton, vaikka rannalta katsottuna se on liikkeessä.

Saman hän toteaa huomattavasti yksityiskohtaisemmin *Filosofisten periaatteiden* artiklassa XIII:

> *Sanat ”paikka” ja ”tila” eivät tarkoita mitään erillistä siitä kappaleesta, jonka sanomme olevan jossakin paikassa (…). Kun laiva lähtee merelle, perässä oleva ihminen pysyy koko ajan samassa paikassa, jos perustana käytetään laivan osia (…),*

mutta vaihtaa paikkaa alituiseen, jos perusteena käytetään rantoja (Descartes 2003, 74-75).

Descartes ei ole kuitenkaan täydellinen relativisti. Sanoohan hän saman kirjoituksen artiklassa XXVII liikkeen ja levon olevan kappaleen erilaisia moduksia:

On ilmeistä (…), että kappaleen laita on toisin silloin, kun se siirtyy, kuin silloin, kun se ei siirry eli on levossa (Descartes 2003, 81) "

Vaikka kappale voikin liikkua tietyn tarkastelukulman mukaan ja toisen mukaan pysyä paikallaan, voimme ainakin valita näkökulman, jonka mukaan kappale pysyy liikkeessä. Täydellisessä relativismissa meillä ei ole mitään syytä valita yhtä näkökulmaa sen enempää kuin toistakaan.

Kuten Edward Slowik on terävästi huomannut, Descartesin liikelakien neljä ja viisi, samoin kuin kolme ja kuusi (kts. tarkemmin näistä liikelaeista luvut 10.6-10.10) pitäisi muodostaa relativistin mukaan sama lopputulos, siis kappaleiden etäisyys ajan funktiona pitäisi olla kummassakin tilanteessa sama. Kun isompi kappale törmää pienempään, relativistin mukaan olisi aivan yhtä oikein sanoa, että pienempi kappale törmää isompaan, tai jos kaksi kappaletta törmää toisiinsa, aivan yhtä oikein olisi sanoa, että toinen on paikallaan ja toinen törmää siihen nopeudella, joka on yhtä kuin molempien kappaleiden nopeudet yhteensä.

Silti näillä ilmiöillä on Descartesin mukaan aivan eri lopputulokset: esimerkiksi liikelakien neljä ja viisi tapauksessa isomman kappaleen törmätessä pienempään kumpikin jatkaa samaan suuntaan samalla nopeudella, mutta pienemmän kappaleen törmätessä isompaan, isompi kappale pysyy paikallaan ja pienempi kappale kimpoaa takaisin. (Slowik 1998, 367)

Olennaista on siis tarkastella, miten käy kappaleiden välimatkalle ajan funktiona. Jos se on erilainen esimerkiksi tapausten neljä ja viisi tapauksessa, ei liikkeen relativismista pidetä johdonmukaisesti kiinni.

Miten pystymme selittämään tämän ristiriidan? Onko niin, että liikkeen relativismi on vain tietynlainen myönnytys Raamatun ja kirkon oppien suuntaan, joita kumpaakin Descartes kunnioitti (Descartes 2003, 13-14), ja jonka loogisuudessa hän ei myöhemmin pysynyt? Onhan ilmeistä, että jos liike on suhteellista, niin tietyssä mielessä maa pysyy paikallaan, vaikka kiertäisikin toisen katsantokannan mukaan auringon ympäri, ja näin ollen voidaan päätellä, että Raamattu on sanoessaan mm:

> *Aurinko nousee, aurinko laskee, kiirehtii nousunsa sijoille ja nousee taas (Saarnaajan kirja, 1:5)*

Aivan yhtä oikeassa kuin Galileo, joka sanoo maan pyörivän auringon ympäri, *omasta näkökulmastaan*. Näin voimme hyväksyä yhtä aikaa sekä Raamatun totuudet, että maapallon liikkeen auringon ympäri. Descartesin kommentti tukee tätä teoriaa:

> *(…) tässä mielessä voidaankin sanoa, että sama olio (jolla Descartes tarkoittaa maata) sekä liikkuu että ei liiku riippuen siitä, millä erilaisista tavoista määritämme sen paikan. (Descartes2003, 112)*

8.2 Substanssi ja sen luonto

Ongelma siitä, ymmärsikö Descartes tämän ristiriidan vai onko ristiriita vain näennäinen, ei ratkea luultavasti koskaan, sillä tutkimalla Descartesin mielenfilosofiaa saadaan tällekin ongelmalle ristiriidaton selitys.

Alice Sowaal on huomauttanut[21], että vaikka *Filosofisten perusteiden* säännössä XXV kirjoitetaan siitä, että vaikka liike on aineen yhden osan siirtymistä tarkasteltavien kappaleiden läheisyydestä toisten kappaleiden läheisyyteen, niin jos tätä käyttää kappaleen määrittämiseen, emme voi enää erottaa paikallaan olevia tai samaan suuntaan liikkeessä olevia kappaleita toisistaan. (Sowaal 2004, 218-219) Tämä ei ole kuitenkaan uusi idea, sillä Garberin mukaan jo Leibniz esitti saman kritiikin (luku 10.13).

Jotta voisimme osoittaa, että on olemassa myös vaihtoehtoisia selitysmalleja, täytyy meidän ensin tarkastella Descartesin käsitystä substanssista. Descartes määrittelee substanssin siten, että sen olemassaolo ei ole riippuvainen mistään muusta, se on siis itsenäinen[22]. Tämä voidaan käsittää tiukassa mielessä siten, että on vain yksi substanssi, Jumala, koska minkään muun olemassaolo ei ole välttämätöntä (esim. Descartes 1994, 110) ja löyhemmässä mielessä siten, että kaikki ne, jotka riippumattomia muusta kuin Jumalasta, ovat substansseja. Edellistä voidaan kutsua Sowaalin mukaan primaariseksi substanssiksi, jälkimmäistä sekundaariseksi substanssiksi ja sellaiseksi voimme lukea koko universumin (Sowaal 1994, 223). Mutta Descartes käyttää substanssin termiä myös kolmannessa merkityksessä:

[21] Myös Descartes kehittelee kartesiolaisen fysiikan kritiikkiä samalta pohjalta (luku 10.11).

[22] Substanssi liittyy niin useasti moneen muuhunkin asiaan, mm. Descartesin luonnonlakeihin ja käsitykseen mielestä, että jätän sen tässä yhteydessä määrittämättä tarkemmin.

Aine ainakin yleensä ottaen on substanssi, eikä koskaan häviä (…). Ylipäätänsä kaikki substanssit – eli oliot, joiden täytyy olla Jumalan luomia ollakseen olemassa – ovat luonnostaan häviämättömiä eivätkä voi koskaan lakata olemasta paitsi jos Jumala kieltää niiltä myötävaikutuksensa ja tekee ne olemattomiksi (…). Mutta ihmisruumiista tulee toinen ruumis jo siksi, että sen joidenkin osien hahmo muuttuu. Siitä seuraa, että ruumis häviää hyvinkin helposti, mutta mieli on luonnostaan kuolematon. (Descartes 2002, 29)

Sowaalin lainaus sisältää erään terminologiaongelman: latinan sana *corpus* tarkoittaa sekä elävän olennon *ruumista* että ylipäätänsä *kappaletta*, ja joissakin merkityksissä myös *ainetta* (Descartes 2002, 364).

Sowaal kuitenkin katsoo, että tässä Descartes tekee eron *sekundaarisen substanssin* (universumi, joka ei lakkaa olemasta, vaikka sen osien hahmo muuttuu) ja *tertiäärisen substanssin* (lakkaa olemasta, kun sen osien hahmo muuttuu) välillä. Tertiäärisiä substansseja ovat siis kappaleet yleensä (Sowaal 1994, 226). Kappaleet sekä näiden liike ja lepo ovat asioita, jotka huomaamme, kun havaitsija havaitsee sekundaarisen substanssin jakautuneen eri osiin.

Descartes tosiaan myöntää, että substanssi ei ole yksimerkityksinen käsite:

Havaitsemme, ettei mikään muu olio puolestaan voi olla olemassa ilman Jumalan myötävaikutusta. Niinpä substanssin nimitys ei sovellu Jumalaan ja muihin asioihin yksimerkityksisesti, niin kuin kouluissa on tapana sanoa. Se tarkoittaa, että tälle sanalle ei voi ymmärtää tarkasti mitään merkitystä, joka olisi yhteinen Jumalalle ja luoduille. (Descartes 2003, 55)

On siis olemassa useita merkityksiä sanalle ”substanssi”. Jakautuminen eri osiin on mielestä riippuvaista (Sowaal 2004, 237). Tertiäärisellä tasolla yksittäiset kappaleet, niiden koko, muoto, paikka ja muoto sekä liike ovat käsitteellisesti erillään toisistaan (Sowaal 2004, 238).

Descartes kirjoittaa seuraavasti:

Kun kaikki ominaisuudet, jotka havaitsemme siinä (aineessa) selvästi, palautuvat siihen yhteen asiaan, että se on ositettavissa ja sen osat ovat liikkuvia ja että se voi näin saada kaikkia niitä ominaisuuksia, joita voimme havaita sen osien liikkeen vuoksi. Osiin jakaminen pelkästään ajatuksissa ei nimittäin muuta mitään, vaan

> *kaikki muuntelu aineessa, eli kaikkien sen muotojen erilaisuus, johtuu liikkeestä. (Descartes 2003, 79)*

Tässä on huomattava, että Descartes viittaa aineen ominaisuuksiin (ositettavuus ja liikkuvuus) moduksina. Descartes määrittelee modukset, kvaliteetit ja määreet seuraavasti:

> *Tässä yhteydessä tarkoitamme moduksella aivan samaa kuin yleensä määreellä tai kvaliteetilla. Kun tarkastelemme sitä, että substanssi on näiden vaikuttama tai muuntelema, kutsumme näitä moduksiksi. Kun taas tarkastelemme sitä, että substanssia voidaan sanoa jonkinlaiseksi tuon muuntelun tähden, kutsumme niitä kvaliteeteiksi. Ja vielä, kun pidämme silmällä yleisemmin vain sitä, että ne ovat substanssissa, kutsumme niitä määreiksi. Siten Jumalassa ei varsinaisesti sanota olevan moduksia tai kvaliteetteja, vaan vain määreitä, koska hänessä ei voida käsittää mitään muuntelua. Myös luoduissa olioissa pitää sanoa määreiksi eikä kvaliteeteiksi tai moduksiksi asioita, joiden tapa olla niissä ei muutu, kuten olemassaolo ja kesto olemassa olevassa ja kestävässä oliossa. (Descartes 2003, 57)*

Määreiden erotus moduksista onkin olennainen osa Descartesin metafyysistä ajatusmaailmaa. Descartesin tekstissä tämä on selitetty hyvin vaikeaselkoisesti, mutta Gaukroger selittää tämän huomattavasti yksinkertaisemmin: määreet[23] ovat niitä tekijöitä, joiden puuttumisen myötä substanssi itsessään lakkaisi olemasta sitä, mitä se on, modukset taas niitä tekijöitä, joiden muuttuessa substanssi itse ei muutu toiseksi. (Gaukroger 2002, 87)

Mitä sitten tekijät ovat? Ulottuvuus (ekstensio) on epäilemättä Descartesille määre, sillä jos se otetaan pois, ei ole mitään substanssia. Elollisille substansseille, kuten ihminen, määre on ajattelu tai ulottuvaisuus, sillä esimerkiksi ihminen ilman ajattelua ei olisi oleellisesti ihminen. Itse asiassa Descartesin mukaan jokaisella substanssilla on yksi ja vain yksi ensisijainen määre (Rozemond 1998, 8):

> *LIII: Kullakin substanssilla on yksi erityinen määre, kuten mielellä ajattelu ja kappaleella ulottuvuus (…) kaikki muu, mitä kappaleesta voidaan sanoa, edellyttää nimittäin ulottuvaisuuden ja on vain ulottuvaisen olion moduksia, ja vastaavasti myös*

[23] Gaukrogerin teksteissä, kuten englanninkielisessä tekstissä yleensäkin, määre on *attribute*. Joissakin Descartesin teoksissa tämä on suomennettu termiksi *attribuutti,* mikä luonnollisesti vaikeuttaa terminologian selvittämistä.

kaikki, mitä löydämme mielestä, on vain erilaisia ajattelun moduksia(…) (Descartes 2003, 56).

Juuri tämä ensisijainen tai erityinen määre on Rozemondin mukaan substanssikäsitteen ytimessä. Kuten Descartes tekstissä mainitsee, Rozemondin mukaan kaikki ominaisuudet substanssissa viittaavat tähän ensisijaiseen määreeseen, siis edellyttävät sitä: ulottuvaisella oliolla ulottuvuutta, mielellä ajattelua (Rozemond 1998, 9).

Modukset taas ovat esimerkiksi elottomille kappaleille tietty paikka (sillä paikan muuttuminen ei vaikuta siihen, onko esimerkiksi pöytä edelleen pöytä) ja nopeus, suunta, painavuus tai lämpö. Erityisesti moduksista *nopeus* ja *suunta* on kyse, kun tarkastelemme liikelakeja.

On kuitenkin huomattava, että tämä erotus substanssin, moduksen ja määreen välillä on kartesiolaisen filosofin ja teologin Antoine Le Grandin tekemä linjanveto. Kuten Clatterbach todistaa, Descartes käyttää termejä *ominaisuudet*, *kvaliteetit*, *modukset*, *aksidenssit* ja *attribuutit* tai *määreet*, peruuttamattomasti ristiriitaisella tavalla eri teoksissaan. (Clatterbauch 1980, 382-383)

Garber on päätynyt samaan tulokseen: Descartes käyttää termejä ”aksidenssi”, ”määre”, ”laatu”, ”ominaisuus” ja ”modus” melko vapaasti, mutta loppufilosofiaansa kohden yhä enemmän painottuu termiin ”modus” (Garber 1992, 65).

Garber esittää mielenkiintoisen teorian sille, miksi Descartes muuttaa käsitteistöään siten, että hän vähitellen poistaa *aksidenssin* ja lisää sanan *modus* käyttöä: aksidenssi on Tuomas Akvinolaiselle ominaisuus, jota ei pidetä olennaisena, mutta joka silti oleellisesti linkittyy suoraan substanssiin. Descartesille taas kaikki asiat täytyy linkittyä substanssiin sen ensisijaisen attribuutin kautta. Modus tarkoittaa latinaksi *tietä* tai *tapaa*, ja se on Garberin mukaan täydellinen kuvaus siitä, kuinka modus linkittyy nimenomaan ensisijaiseen määreeseensä. (Garber 1992, 68-69) Descartesin termistö elää ajan myötä eikä niiden looginen yhteensopivuus ole täysin pitävää.

Sowaalin mukaan Descartes kirjoittaa esimerkiksi törmäyslakinsa tarkoittaen nimenomaan *tertiäärisiä substansseja*, joiden modukset voimme havaita selkeästi ja kirkkaasti (Sowaal 2004, 239). Mikäli Sowaalin analyysi pitää paikkansa, voimme puhua liikkeestä ja levosta siinä mielessä, missä voimme havaita ne, vaikka sekundäärisen substanssin näkökulmasta näitä kahta ei voida erottaa toisestaan. Näin Descartesin liikkeen relativismista tulee loogista hänen muuhun filosofiaansa ja fysiikkaansa nähden.

Myös Gaukroger on päätynyt samanlaiseen lopputulokseen hiukan vähemmän metafyysisestä näkökulmasta. Gaukrogerin mukaan Descartesilla on kaksi tasoa, jossa hän puhuu liikkeestä ja levosta. Ensimmäisenä kinemaattinen malli, jossa vedetään jyrkkä ero liikkeen ja levon välille, ja jossa jälkimmäinen on lähinnä ensimmäistä rajoittava tekijä, ja toiseksi malli, jossa liike ja lepo käsitetään kappaleen moduksina, ja jota käytetään lähinnä kun puhutaan kappaleiden törmäyksistä toisiinsa. (Gaukroger 2002, 106-107)

Mielestäni Sowaalin analyysi on hyvin realistinen, joskin melko monimutkainen: olisi hämmästyttävää, jos Descartes olisi itse jättänyt näin monimutkaisen käsiteanalyysin lukijan vastuulle varsinkin *Filosofian perusteissa*, joka on hyvin yksityiskohtainen ja oppikirjamainen teos. Tukea Sowaalin teorialle antaa Descartes itse teoksessa *Mietiskelyjä ensimmäisestä filosofiasta*.

Aine *ainakin yleensä* on substanssi, toteaa Descartes teoksessaan (Descartes 2002,29). Tätä Sowaal kutsuu **sekundääriseksi** substanssiksi edellä mainituin perustein. Descartes kuitenkin listaa suoraan muita substansseja seuraavasti:

> *VII. Substanssia, joka on välitön subjekti paikalliselle ulottuvuudelle ja aksidensseille, jotka edellyttävät ulottuvuutta, kuten muodolle, sijainnille ja paikalliselle liikkeelle, kutsutaan kappaleeksi (…)*
>
> *VIII, Substanssia, jonka ymmärrämme olevan kaikkein täydellisin ja jossa emme käsitä kerrassaan mitään, mikä merkitsisi puutetta tai täydellisyyden rajoitusta, kutsutaan Jumalaksi. (Descartes 2002, 136)*

Tässä annetaan selkeä määritelmä Sowaalin **tertiääriselle** ja **primääriselle** substanssille. Sowaal ei itse viittaa tässä tutkimuksessa näihin lähteisiin.

8.3 Onko Newtonin fysiikka relativistista?

Onko nykyajan fysiikan käsitys relativistinen siinä mielessä kuin relativismi esiintyy Descartesin liikkeen filosofian käsitteenä? Jotta näin olisi, täytyisi kahden kappaleen välimatkan törmäyksen jälkeen olla ajan funktiona sama riippumatta tarkastelupisteestämme, esimerkiksi jos liikkumattomaksi määräämämme tarkastelupiste sijaitsee kuulassa tai näistä kappaleista erillään olevassa ulkoisessa pisteessä, aivan kuten Descartesin laivaesimerkissä (Descartes 2003, 74-75). Esimerkiksi jos kaksi yhden kilogramman elastista kuulaa törmää keskenään kummatkin nopeudella 1 km/h, ne kummatkin kimpoavat törmäyksen jälkeen samalla nopeudella. Jos taas Kuula A on paikallaan ja kuula B törmää siihen nopeudella 2 km/h, kuula B pysähtyy ja kuula A jatkaa nopeudella 2 km/h (tarkemmat laskukaavat on esitetty liitteessä 3). Ainakin tämän esimerkin mukaan näyttäisi siltä, että Newtonin fysiikassa kappaleiden törmäykset ovat Descartesin esittämässä mielessä relativistisia, ja itse asiassa tämä pätee kaikilla massan ja nopeuden arvoilla. Todistus tälle väitteelle on esitetty *liitteessä neljä*.

8.4 Tyhjiö metafyysisenä ongelmana

Descartesin aikaan tyhjiön ongelma oli samanlainen kuin nykyäänkin: toiset, lähinnä Aristoteleen kannattajat ja osa skolastikoista, uskoivat, ettei tyhjiötä ole mahdollista olla olemassa: aina, kun toinen esine väistyy tieltä, tilalle tulee jotain muuta. Toiset taas uskoivat, että avaruus on erillinen olio tai substanssi, pelikenttä, jossa kappaleet liikkuvat ja törmäilevät toisiinsa tyhjässä tilassa. Nykyään tämä ennakko-oletus riippuu lähinnä kontekstista: yleensä meidän kannattaa ajatella, että avaruus on tyhjä tila, jossa on erillisiä hiukkasia, mutta joidenkin suhteellisuusteorian tarkastelujen näkökulmasta avaruutta ei ole mielekästä olettaa itsenäisesti olemassa olevaksi olioksi, vaan se on enemmänkin kappaleen vaikutuskenttä (luku 8.5).

Descartes kirjoitti Mersennelle, että hän on käytännössä ainoa, joka uskoo, ettei tyhjiötä ole olemassa. Garberin mielestä tämä on liioittelua (Garber 1992, 127), ja onkin totta, että Aristoteleen lisäksi monet katolilaisuutta edustavat arvostetut ihmiset ovat hylänneet tyhjiön mahdollisuuden, mm. vaikutusvaltainen Albert Suuri (Duhem 1985, 378).

Muun muassa Beeckman edusti vastakkaista kantaa eli tyhjiön olemassaoloa (Garber 1985, 129), ja onkin mielenkiintoista huomata, miten Beeckman taas oli enemmän nykyfysiikan linjoilla, sikäli kun pidämme newtonilaista tai epäeuklidista itsenäistä avaruutta nykyfysiikan linjana. Descartesin kanta voidaan johtaa hänen filosofiaansa. Kuten hän kertoo teoksessaan *Filosofian perusteet*, on täysin mahdotonta kuvitella tyhjiön ulottuvaisuus, koska ulottuvaisuus edellyttää materiaalisen substanssin (Garber 1992, 132).

8.5 Descartesin fysiikka ja suhteellisuusteoria

Klassinen mekaniikka on relativistista Descartesin tarkoittamassa mielessä (luku 8.2). Descartes, joka määrittelee liikkeen kappaleen siirtymisenä yksien osien läheisyydestä toisten läheisyyteen, on tavallaan lähempänä Einsteinin suppeaa suhteellisuusteoriaa kuin Newtonin absoluuttisen avaruuden idea. On kuitenkin muistettava kaksi asiaa:

Ensiksi Newton oli hyvin selvillä suhteellisen avaruuden käsitteestä, *Principiassaan* hän kirjoittaa:

> *Absoluuttinen avaruus(…) pysyy paikallaan samanlaisena ja muuttumattomana. Suhteellinen avaruus on osa tai jokin liikkuva ulottuvuus tästä absoluuttisesta avaruudesta. Absoluuttinen liike on liikkumista yhdestä absoluuttisesta paikasta toiseen ja suhteellinen liike on liikkumista yhdestä suhteellisesta paikasta toiseen. (Garber 1992, 170)*

Toiseksi, klassisen mekaniikan liikeyhtälöt toteuttavat liikkeen relativismin vaatimukset, kuten todistamme liitteessä neljä. Descartesin ja Einsteinin yhtymäkohtia on se, että kummatkin kieltävät absoluuttisen ja itsenäisen avaruuden olemassaolon, mutta Newtonin fysiikka ei, kenties yleistä uskomusta vastaan, kiistä *liikkeen suhteellisuutta.*

Fysiikassa tunnetaan kaksi suhteellisuusteoriaa: erityinen suhteellisuusteoria (julkaistu 1905), joka käsittelee vain tiettyjä suhteellisuusteorian erityistapauksia, ja yleinen suhteellisuusteoria (julkaistu 1915), joka sisältää laajennoksen edelliseen (Calaprice; Liscombe 2005, xvii-xix). Fysiikan historian erikoisuuksista johtuen *erityinen suhteellisuusteoria* (special relativity theory) ei sisällä mitään *erityistä*, siksi jotkut nykyajan fyysikot puhuvatkin *suppeasta* suhteellisuusteoriasta. Analogian kautta ilmaistuna, jos yleinen suhteellisuusteoria olisi teoria kaikista kolmioista ja niiden ominaisuuksista, erityinen (tai suppea) suhteellisuusteoria olisi teoria vain suorakulmaisista kolmioista.

Yleisessä suhteellisuusteoriassa erityisen sijan saavat *kentät* ja *tensorit*, jotka ovat geometrisesti monimutkaisia käsitteitä. Einsteinin mukaan nämä tekevät tyhjän avaruuden käsitteen tarpeettomaksi. Kappaleet ovat spatiaalisesti laajentuneita olioita, eivät itsenäisessä tyhjässä tilassa olevia olioita, kuten Newton väittää. Mielenkiintoista asiassa on se, että itse Einstein kertoo tämän puoltavan Descartesin filosofiaa: tyhjää tilaa ei ole olemassa itsenäisenä oliona, vaan se kuuluu aina gravitaatiopisteen kenttään (Slowik 2005, 1313-1314).

Tämä eroaa hyvin paljon Aristoteleen (Gaukroger 2002, 98) ja myöhemmin Newtonin käsityksistä, jossa luonnossa jokaiselle esineelle voidaan osoittaa absoluuttinen paikka, ja tila on olemassa itsenäisenä oliona. Se poikkeaa paljon jopa nykyfyysikoiden käsityksestä, sillä tämä yleisen suhteellisuusteorian tulos aukeaa vain harvalle teoreettiselle fyysikolle. Uskaltaisin jopa väittää, että valtaosa nykyajan fyysikoista ei ole koskaan kyseenalaistanut itsenäisen avaruuden välttämättömyyttä, vaikka sen *epäeuklidisuus* on kyllä laajasti tunnettu malli vähemmänkin suhteellisuusteoriaa tuntevien keskuudessa.

Slowik kuitenkin myöntää, että näiden teorioiden vertailu on ongelmallista. Vaikka Descartes kieltää, kuten aiemmin olemme todenneet, tyhjiön olemassaolon, yleisenkin suhteellisuusteorian mukaan tyhjiö on reaalisesti olemassa tietyllä avaruuden alueella, mutta se sisältää aina mm. gravitaatioaaltoja[24], joiden energia voidaan Slowikin mukaan muuntaa ainakin periaatteessa materiaksi. (Slowik 2005, 1320) Slowik ei esittele asiaa tarkemmin, mutta viitannee antimaterian valmistuksessa tehtyihin kokeisiin, joissa materia-antimateriahiukkasia on onnistuttu luomaan vetyioneiden liike-energiasta. Tällöin sekä Descartes että Einstein olisivat samaa mieltä: tila on kappaleen laajentuma (esim. Descartes 2003, 76).

Esimerkiksi kvanttimekaniikassa tyhjiön kvanttifluktuaatio lähestyy asiaa toisesta näkökulmasta ja tukee Slowikin käsitystä: tyhjiössä on sinänsä aina energiaa (Crowell 2005, 41), ja energia ja massa ovat vastaavuussuhteessa toisiinsa.

Paikoittain suhteellisuusteorian ratkaisut voidaan kuitenkin nähdä jopa enemmän Newtonilaisina kuin Descartesin maailmankuvaa vahvistavina (Slowik 1322).

Ehkäpä on niin, että Descartesin ja Einsteinin vertailu on suhteellisen hedelmätöntä, sillä yhtymäkohdistaan huolimatta ne ovat - kuhnilaisittain ilmaistuna - paradigmaattisesti eriäviä fysiikan teorioita. Ne perustuvat täysin erilaisiin näkemyksiin, taustaoletuksiin ja tapoihin tulkita fysiikan ilmiöitä.

[24] Gravitaatiovoima on heikko, mutta ulottuu suhteellisuusteorian mukaan, samoin kuin klassisen mekaniikan mukaan, äärettömyyteen saakka. Siksi emme voi osoittaa mitään niin etäistä paikka, ettei gravitaatio vaikuttaisi sielläkin.

Siitä huolimatta on erittäin mielenkiintoista huomata, että Newtonin ajoista asti pohjautuva absoluuttisen avaruuden käsite voidaan kyseenalaistaa Descartesin hyväksi tärkeissä fysiikan teorioissa. Näin ollen voidaan sanoa, että kaikista Descartesin ristiriitaisista, nykyajan fysiikan kanssa ristiriitaisista ja todennäköisesti aikalaisten tiedekäsityksiä heijastelevista fysiikan teorioista huolimatta Descartesin fysiikassa löytyy ainakin yksi helmi, avaruuden geometrinen rakenne, jolla on yhtymäkohtia suhteellisuusteorian kanssa. Tärkeintä Descartesin sinänsä alkeellisissa fysiikan teorioissa on se, että sen avulla itsestään selviäkin asioita voidaan pohtia toisin.

9. Descartesin luonnonlait

Tämän luvun tarkoitus on osoittaa, että Descartesin fysiikka ja teologis-filosofiset näkemykset linkittyvät hyvin yhteen: Descartes haluaa Jumalan aktiivisesta vaikuttajasta taustavaikuttajaksi, mutta silti puolustaa kiivaasti Jumalan eksistenssiä ja äärettömyyttä. Lisäksi osoitan, että matemaattinen lähestymistapa tiettyihin Descartesin ideoihin on joskus huomattavasti yksinkertaisempi kuin monimutkainen, Descartesin metafysiikkaan ja mielenfilosofiaan pureutuva käsitteellinen analyysi.

9.1 Ensimmäinen luonnonlaki

Descartes erottaa toisistaan kolme luonnonlakia sekä näiden perusteella päätellyt muut ilmiöt, kuten liikelait. Tarkoitus on analysoida, onko siirtyminen Descartesin yleisistä luonnonlaeista liikelakeihin loogista ja luontevaa. Ensimmäinen luonnonlaki kuuluu seuraavasti:

> *Jokainen olio omasta puolestaan säilyy aina samassa tilassa niin, että jos se kerran liikkuu, se jatkaa liikettä aina (Descartes 2003, 87).*

Tämän saman asian Descartes on oikeastaan selittänyt hiukan aikaisemmin saman asian eri tavalla:

> *Liikkeeseen ei tarvita sen enempää toimintaa kuin lepoonkaan (Descartes 2003, 80).*

Erityisesti on huomattava, että säännön perusteluissa Descartes samaistaa *toiminnan* ja *voiman*. Descartes vertaa liikkuvaa kappaletta vedessä liikkuvaan laivaan, jonka pysäyttäminen vaatii yhtä lailla voimaa kuin liikkumattoman laivan saamiseen liikkeelle. (Descartes 2003, 80)

Ensimmäinen kysymys, joka nousee tästä laista on se, että jos tämä pitää paikkansa, miksi esimerkiksi tasaisella pinnalla eteenpäin pyörivä pallo hidastuu ja lopulta pysähtyy, vaikka se ei kohtaisi mitään esteitä? Aristoteleen impetus-teoria kaiken liikkeen vähittäisestä hidastumisesta (Garber 1992, 10) on enemmän arkipäivän kokemuksiamme vastaava. Descartes jatkaa saman lain selityksessä, että elämme maailmassa, jonka rakenteen vuoksi kaikki liikkeet pysähtyvät aisteiltamme piiloon jäävistä syistä: esimerkiksi heittoliikkeessä heitettävien esineiden kohtaamat kappaleet hidastavat niitä. Koska tyhjiö on Descartesin mukaan looginen mahdottomuus, esineiden kohtaamista ja sen aiheuttamaa hidastumista esiintyy kaikkialla. Descartes kirjoittaa vielä:

> *Ja nyt olemme siis taipuvaisia aina pitämään totena sitä, että minkä näytämme kokeneen monissa tapauksissa, nimittäin että nämä (edellä mainitut) liikkeet pysähtyvät luonnostaan eli vetäytyvät lepoon. Tämä on todellakin mitä vahvimmin luonnonlakien vastaista: lepo on nimittäin liikkeen vastakohta, eikä mikään vie itseään omasta luonnostaan vastakohtaansa eli oman itsensä tuhoutumiseen. (Descartes 2003, 87)*

Newton on tässä samalla kannalla Descartesin kanssa, ja tämä laki tunnetaan nykyään *Newtonin ensimmäisenä liikelakina*. Tämä on eräs merkittävimmistä muutoksista tieteellisessä, filosofisessa ja teologisessa katsantokannassa. On hyvin tärkeää huomata, että tämä laki ei ole suinkaan kokemuksemme mukainen, vaan vaatii runsaasti metafyysisiä, ilmiöitä yksinkertaistavia ja ainakin Descartesin tapauksessa myös teologisia taustaoletuksia.

Ensinnäkin mekaniikan tutkimuksen eräs kulmakivi oli saavutettu, koska kaikki nykymekaniikka perustuu tähän periaatteeseen. Newtonin mukaan F=ma[25], joten a=F/m. Kaikki nopeuden (ja myös suunnan) muutokset eli kiihtyvyydet, positiiviseen tai negatiiviseen suuntaan, tapahtuvat vain voimavaikutuksesta. Skolastisessa filosofiassa liikkeessä olevalla kappaleella on aina jokin vaikuttava syy, viime kädessä Jumala[26]. Esimerkiksi planeetat liikkuvat, koska Jumalan tahto pitää nämä radoillaan. Ehkäpä tästä syystä skolastinen filosofia ei innostanut etsimään liikkeen syitä, seurauksia ja säännönmukaisuuksia, koska olisi ollut varsin röyhkeää lähteä tutkimaan ja täten myös arvostelemaan Jumalan toimia. Descartesin mukaan taas

> *Hän (Jumala) loi alussa aineen yhtä aikaa liikkeen ja levon kanssa, ja säilyttää pelkästään tavanomaisella varjeluksellaan kaikessa yhtä paljon liikettä ja lepoa kuin hän sinne asetti (Descartes 2003, 86).*

Teologinen ero on selvä: sen sijaan, että Jumala pitäisi jatkuvasti planeetan radallaan joka hetki tahtonsa avulla, hän muuttuu vain tarkkailijaksi, jonka luoma objekti liikkuu omien moduksiensa mukaan. Ottamatta sen enempää kantaa Descartesin teologisiin käsityksiin, on tällä ajattelutavalla ainakin kaksi luonnonfilosofin teologisiin/metafyysisiin ajatuksiin vaikuttavaa merkittävää muutosta:

---

[25] F on voima (jota käytetään eri tarkoituksessa kuin Descartesin fysiikassa), m on massa ja a kiihtyvyys.

[26] Esim. McGrath 1999, 68; Garber 1992, 278). Ehkä vastoin yleistä ennakkoluuloa varsinkin 1300-luvun skolastisessa filosofiassa oli tosin myös monia modernin mekaniikan kanssa yhtyviä teemoja, kuten Descartesin ensimmäisen liikelain ajatus ainakin jossain muodossa (Laird, Roux 2008, 76).

1) Koska Jumala ei joka hetki vaikuta aktiivisesti liikkeessä tai levossa olevassa kappaleessa, vaan toimii pikemminkin tarkkailijana, ei Jumalaan uskovankaan tutkijan tarvitse pelätä puuttuvan Jumalan toimiin tutkiessaan liikettä
2) Koska kappale käyttäytyy omien modustensa mukaisesti Jumalan tavanomaisen varjeluksen alla, voidaan yleensäkin olettaa, että tällä käyttäytymisellä on jotain säännönmukaisuuksia, eikä sen käyttäytyminen muutu Jumalan tahdon muuttuessa[27].

Kummatkin näistä asioista voivat rohkaista etsimään liikkeestä säännönmukaisuuksia ja syy-seuraus-suhteita kappaleiden liikkeestä. Descartesin käsitys ei saanut pelkästään myönteistä palautetta, ei edes ”uuden tieteen” piirissä. Esimerkiksi kuuluisa matemaatikko, luonnontutkija ja filosofi *Blaise Pascal* kirjoitti *Mietteissään*:

> *En voi koskaan antaa anteeksi Descartesille: hän olisi mielellään koko filosofiassaan ollut vailla Jumalaa, mutta hän ei voinut olla panematta Jumalaa näpäyttämään sormellaan, jotta maailma lähtisi liikkeelle; sen jälkeen hän ei enää tarvitse Jumalaa. (Ljatker 1984, 98)*

Kuten olen jo toisessa yhteydessä todennut, on vähintäänkin kyseenalaista, keksikö Descartes teorian kappaleen riippumattomasta ja samalla tavalla jatkuvasta liikkeestä (luku 4). Samanlaisia ajatuksia oli sekä Beeckmanilla että Galileilla, ja kenties myös taivaankappaleiden jatkuva, säännöllinen ja hidastumaton liike antoi Descartesille aihetta olettaa tätä: Descartesin filosofia kun ei voi hyväksyä mitään Jumalan jatkuvaa, aktiivista vaikuttamista, jota taivaankappaleiden liike edellyttäisi, jos Aristoteleen impetus-teoria pitäisi paikkansa.

9.2 Toinen luonnonlaki

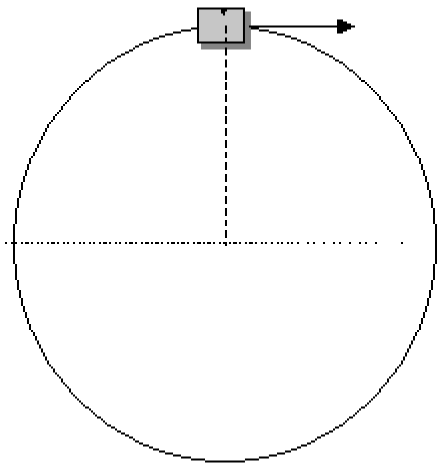
Descartesin toinen luonnonlaki kuuluu seuraavasti:

> *Kaikki liike on itsessään suoraa. Niinpä niillä, jotka liikkuvat kehässä on aina taipumus paeta piirtämänsä kehän keskustaa. (Descartes 2003, 88)*

Descartes ajattelee taas liikettä teologisessa mielessä: Jumala haluaa säilyttää liikkeen sellaisena, kun se sillä hetkellä on, välittämättä sen aikaisemmista liiketiloista. Descartes ottaa tästä esimerkiksi ympyräliikkeen: lingossa oleva kivi jatkaa ympyräliikettä vain niin kauan, kun kiven

[27] Itse asiassa Jumalan tahto ei Descartesin mukaan voi edes muuttua, sillä se todistaisi hänen mukaansa Jumalan olevan päätöksissään epävakaa ja epätäydellinen, mikä taas olisi Jumalan määritelmää vastaan (Descartes 2003, 86).

pyörittäjä omalla voimallaan pitää sen ympyrän radalla. Jos jossain pisteessä kivi irtoaa lingosta, etenee se välittömästi suoraviivaisesti ympyrän sivuajan eli tangentin suuntaisesti. (Descartes 2003, 88-89)



Kuva 3. Kappaleen liikerata ympyrässä suuntautuu aina sen tangentin (sivuajan) suuntaan. Mikäli kappaleeseen vaikuttava voima (gravitaatio, langan aiheuttama voima yms.) päättyy, jatkaa kappale suoraviivaisesti tangentin suuntaan.

Tässä luonnonlaissa ei ole mitään mistä nykyajan fyysikko olisi eri mieltä. Tämän lain merkittävyys on mekaniikan filosofian yksinkertaistamisessa. Aiemmin varsinkin tähtitieteessä oli monesti ajateltu, että esimerkiksi planeettojen ympyräliikkeet johtuvat yksinkertaisesti siitä, että ympyräliike oli ”luonnollista” taivaallisille kappaleille, toisin kuin maanpäällisille kappaleille, mutta Descartes yritti tässä yksinkertaistaa mekaniikkaa ja todistaa, että kaikki kappaleet noudattavat samoja luonnonlakeja. Esimerkiksi taivaankappaleiden liikkeet ovat ympyränmuotoisia, koska aurinkokunnan pyörre pakottaa ne ympyräliikkeeseen (luku 5.4), ei sen takia, että ympyräliike olisi jotenkin ”luonnollista” ja itsenäistä liikettä millekään kappaleelle.

Gorhamin mukaan tämän suoran liikkeen oletuksen juuret eivät ole kokemuksessa, vaan Descartesin metafysiikassa ja teologiassa (Gorham 2005, 432).

Mitkä ovat sitten Descartesin mahdolliset ajatukset tämän lain takana? Kuten olemme jo aiemmin monessakin kohdassa huomanneet, Descartes arvostaa yksinkertaisuutta ja selkeyttä. Ainoastaan suora viiva on hänen mielestään kokonaan yksinkertainen (Gorham 2005, 438). Gorham kuitenkin mainitsee, että tämä päätelmä on itsessään kovin hatara, ja se muistuttaa Descartesin lyhyiden perusteluiden nojalla jopa *kehäpäätelmältä*. Jos valitsemme esimerkiksi kaksi pistettä ympyrä kehältä, eikö yksinkertaisin reitti niiden välillä kulje ympyrän kehää pitkin? (Gorham 2005, 439) Descartesin mukaan, kun valitsemme kappaleen paikassa A, tuolla ajanhetkellä mitään sen ympyrämäisestä liikkeestä ei voida ajatella säilyvän. Juuri tämä ajattelu hetkellisyydestä on tärkeä. Jumala säilyttää liikkeen vain nykyhetkenä, ottamatta huomioon sen aiempia liikkeitä. (Gorham 2005, 442)

Gorham kiinnittää huomionsa Descartesin käsitykseen ajasta ja kausaalisuudesta. Descartesin mukaan ajanhetket eivät ole kausaalisesti toisiinsa sidottuja, joten siitä, että olemme tällä hetkellä, ei voida päätellä, että olemme hetken kuluttua, ellei tälle ole jotain syytä, joka uudistaa meidät, eli pitää meidät olevana. (Gorham 2005, 446)

Samasta asiasta Descartes kirjoittaa seuraavasti:

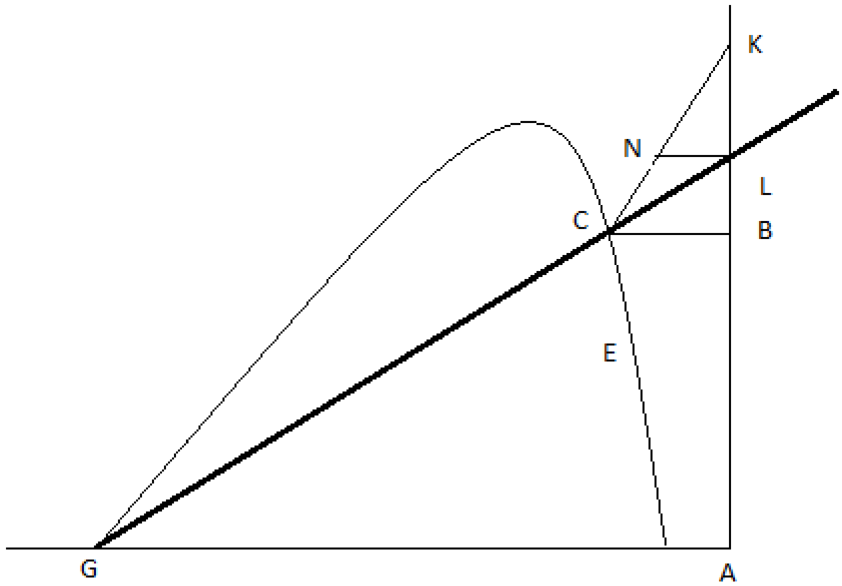
> *Aika on luonteeltaan sellaista, etteivät sen osat riipu toisistaan eivätkä koskaan ole olemassa yhtä aikaa. Siitä, että olemme nyt olemassa, ei siis seuraa, että olisimme olemassa myös lähinnä seuraavana hetkenä, ellei meitä ikään kuin tee uudestaan eli säilytä jokin syy, eli meidät alun perin tuottanut syy. (Descartes 2003, 44)*

Meillä ei siis ole käsitystä kappaleesta, jolla olisi itsessään voimaa tuottaa muutosta käyrään liikkeeseen. (Gorham 2005, 449) Käyrä liike edellyttää aina vuorovaikutusta toisiin kappaleisiin. Vaikka Descartesin fysiikka oli hyvin erilaista kuin nykyajan fysiikka, tästä väitteestä sekä Descartes että moderni fyysikko ovat samaa mieltä. Suora liike ei muutu käyräksi ilman jonkinlaista vuorovaikutusta toisiin esineisiin, oli sitten kysymyksessä tyhjiössä kulkeva raketti (jossa tämä ”toinen esine” on raketista erkaneva palokaasu), lentokone, painovoimakentässä kulkeva satelliitti tai Baseball-syöttäjän tai jalkapalloilijan syöttämä käyrä pallo (johon vaikuttaa ns. *bernoullin efekti,* joka tyhjiössä ei olisi mahdollinen).

Lisäksi, käyrän liikkeen tämänhetkisestä paikasta ei voida päätellä täydellisesti sitä, minkälainen liike kokonaisuudessaan on, ja siksi suora viiva on yksinkertaisempi vaihtoehto, Descartesin Jumalan vaihtoehto.

Gorhamin analyysi voi hyvinkin pitää paikkansa. Garber mainitsee, että tämä ”jatkuvan luomisen malli”, jossa Jumala ylläpitää maailmaa ikään kuin elokuvantekijä, joka korvaa jokaisen dian uudella, on hyvin yhteensopiva Descartesin filosofiaan, mutta mainitsee, ettei Descartes ei itse ainakaan Garberin havaintojen mukaan mainitse missään tätä ideaa, se on Descartesin tulkitsijoiden johtopäätös. (Garber 1992, 275) Olen jokseenkin samaa mieltä edellä esitetystä Descartesin lainauksesta huolimatta (Descartes 2003, 44), sillä koska siinä kirjoitetaan *ikään kuin* säilyttämisestä, on vaikea sanoa, onko tämä toimintamalli Descartesille enemmän kielikuvallinen kuin reaalinen.

On kuitenkin eräs toinenkin mahdollinen selitysmalli, joka on hyvin yksinkertainen. Descartes oli matemaatikko, ja ajatteli kuten matemaatikko. Syy, miksi Descartes ajatteli, että käyrä liike on monimutkaisempi kuin yksinkertainen on se, että hän kirjassaan *Geometria* konstruoi käyrän suorien avulla. Yksinkertaisista asioista konstruoidaan monimutkaisia asioita, kuten Descartesin deduktiivinen metodi (luku 5.3) neuvoo.



Jos määrittelemme, että GA=a, CB=y, BA=x, GA=a, KL=b ja NL=c, niin voimme päätellä, että c ja b suhtautuvat (yhdenmuotoisten kolmioiden nojalla) toisiinsa kuten y suhtautuu mittaan BK, joka on yhtä kuin $\frac{b}{c}y$ (jälleen yhdenmuotoisten kolmioiden nojalla). BL on taas yhtä kuin $\frac{b}{c}y - b$, ja AL on yhtä kuin $x + \frac{b}{c}y - b$ (nämä tulokset ovat kuvasta itsestään selviä eivätkä tarvitse yksityiskohtaisempaa matemaattista todistusta). Edelleen, kuten CB suhtautuu LB:hen, siten AG suhtautuu mittaan LA. Ratkaisemalla yhtälön $\frac{CB}{LB} = \frac{AG}{LA}$ ja kertomalla kummatkin puolet mitalla $\frac{CB}{BK}$ päädymme lopulta yhtälöön, joka kuvaa tuntemattomien suuruuksien (x ja y ovat muuttujia) välistä relaatiota tiedetyillä kertoimilla:

$$y^2 = cy - \frac{cx}{b}y + ay - ac$$

(Descartes 1954, 52-53, suluissa lisätty omat selitykseni).

Tärkeintä ei tässä ole itse todistuksen matemaattinen tulos, vaan sen idea: alaspäin aukeavan paraabelin yhtälö on mahdollista ilmoittaa muuttujien x ja y välisenä relaationa, toisin sanoen paraabeli voidaan konstruoida kahdesta suorasta. Täten voidaan sanoa, että käyrä on aina monimutkaisempi asia kuin suora, aivan kuten talo on monimutkaisempi asia kuin tiili, joista talo on rakennettu.

9.3 Kolmas luonnonlaki ja neljäs liikelaki

Descartesin kolmas luonnonlaki kuuluu seuraavasti:

> *Jos liikkuva kappale törmää toiseen itseään voimakkaampaan, se ei menetä mitään liikkeestään*[28]*, ja jos se törmää itseään heikompaan, se menettää vain sen verran kun se luovuttaa toiselle (Descartes 2003, 89).*

Lupaavasti alkaneet ja jopa Newtonin veroisia mekaniikan peruslakeja enteilleet teoriat menevät tässä pahasti pieleen. Tämän luonnonlain mukaisesti perusteltu 4. liikelaki

> *Jos kappale C on levossa ja on hiukankin suurempi B:tä, niin riippumatta B:n nopeudesta, C ei itse liiku vaan iskee B:n vastakkaiseen suuntaan.*

on aivan yhtä suurissa vaikeuksissa. Descartes perustelee tämän liikelain sillä, että C:ssä on aina suurempi voima vastustaa liikettä kuin B:llä saattaa kappale liikkeeseen (Descartes 2003, 92).

Kun kaksi erimassaista (tai erikokoista) kappaletta törmää toisiinsa eri nopeuksilla eikä kitkaa oteta huomioon, niiden nopeudet väistämättä kuitenkin muuttuvat. Samoin, jos toinen näistä kappaleista on paikallaan, senkin nopeus muuttuu myös silloin, kun sen koko on suurempi kuin törmäävän kappaleen (elleivät sitten kitkavoimat pidä sitä paikallaan). Tämä aiheuttaa paljon ongelmia Descartesin esittämille törmäyslaeille. Ainoastaan, jos ”voimakkaampi” osapuoli on täysin liikkumaton, kuten maahan kiinnitetty pylväs, pitää tämän lain alkuosa paikkansa. Jotta saisimme tarkemman selvää tämän luonnonlain ongelmista, tarkastellaan kahta nykyfysiikan

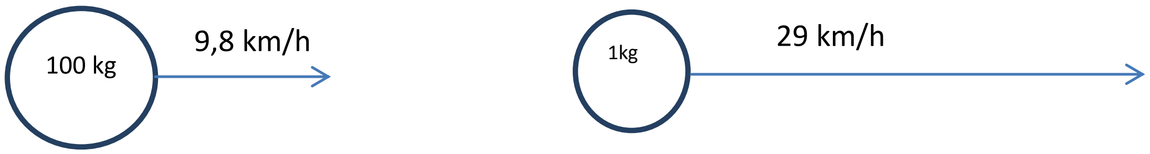
---

[28] Säännön selityksessä mainitaan, että kappaleen nopeus ei muutu, mutta liikkeen määräytyneisyys eli suunta muuttuu. Tämä on jälleen yksi todiste siitä, että Descartesille liikkeen voima/liikemäärä on skalaarisuure: sillä on suuruus, mutta ei suuntaa.

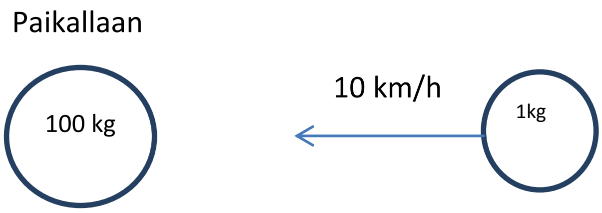
mukaista esimerkkiä, jossa 100 kg:n ja 1 kg:n täysin elastiset[29] kappaleet törmäävät (tarkemmat Newtonin liikelakien mukaiset yhtälöt on esitetty liitteessä 3):

Alkutilanne:

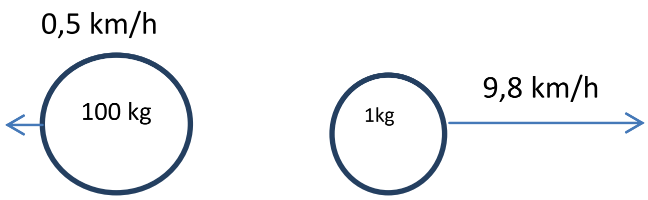
Lopputilanne:



Alkutilanne:



Lopputilanne:



Näistä esimerkeistä näemme selvästi, ettei Descartesin väite voi pitää paikkansa millään äärellisillä törmäävien kappaleiden massan/koon arvoilla. Oli suurempi massa miten paljon suurempi tahansa, sen liiketila muuttuu aina pienemmän kappaleen sitä koskettaessa. Myös pienemmän kappaleen liiketila muuttuu. Muutoksen suuruus riippuu siitä onko suurempi kappale liikkeessä vai ei, sekä sen suhteellista massasta/koosta pienempään kappaleeseen nähden.

---

[29] Elastisella kappaleella tarkoitetaan ideaalikappaletta, joka joustaa, mutta kuitenkin palauttaa entisen muotonsa: se ei siis käytä yhtään energiaa omaan muodonmuutokseensa.

Descartes ajautui harhaan ymmärrettävästä syystä: näissä laskuissa ei oteta huomioon kitkan vaikutusta, ja kitka on helppo nähdä syynä, joka harhauttaa pohtimaan esineiden kokojen merkitystä liikkeellelähdössä. Descartesilla ei olisi myöskään ollut minkäänlaisia mahdollisuuksia onnistua tässä selityksessään, sillä jos kitka otetaan huomioon, täytyisi meidän laskuissamme ottaa selville myös kappaleiden kosketusaika ja kappaleiden keskinäinen voimavaikutus ajan funktiona esimerkiksi tietääksemme, lähteekö kappale ollenkaan liikkeelle vai pitääkö kitka sitä paikallaan myös törmäyksen aikana, ja tätä on mahdotonta tehdä analyyttisesti. Ongelma on nykyajankin fysiikalla (lukuun ottamatta suuntaa antavia tietokonesimulaatioita) mahdotonta *laskea*, se täytyy *mitata*.

Descartes tuntuu olevan hyvin tietoinen tämän teorian hankaluuksista. Hän kirjoittaa Clerselier’lle vuonna 1645 (vuosi sen jälkeen kuin *Filosofian periaatteet* ja myös niihin sisältyvät törmäyslait julkaistiin):

> *Tämä (neljäs törmäyslaki) ei ole vastoin kokemusta. Näissä säännöissä nimittäin tarkoitetaan liikkumattomalla kappaleella sellaista, jolla ei ole pintaa erottamassa sitä ympäröivien kappaleiden pinnasta ja joka niin ollen on osa suuremmassa kappaleessa (…) Olen siten selittänyt, miksi ilmassa olevaa kappaletta voi liikuttaa pienempikin voima.*
>
> *Minun täytyy kuitenkin tunnustaa teille, että näissä säännöissä on vaikeutensa, ja yrittäisin selvittää ne teille paremmin, sikäli kun nyt pystyn, mutta koska tällä hetkellä muut toimet niin vaativat ajatukseni, jättäisin luvallanne toiseen kertaan mielipiteeni pidemmän kuvaamisen (Descartes 2003, 389-390).*

Mitä sitten Descartes tarkoittaa kappaleen pinnalla? Ilmeisesti maahan upotettu pylväs on liikkumaton kappale. Onko lattialla oleva puunpala liikkumaton kappale, jolla ei ole pintaa erottamassa sitä ympäröivistä kappaleista, vai tarkoittaako Descartes sitä, että liikkumaton kappale ei saa olla *faasi*, systeemin homogeeninen alue, kuten kivi vedessä tai puukappale ilmassa? Descartesin liikelait tuntuvat olevan hyvin suurissa hankaluuksissa. On ilmeistä, että kolmas luonnonlaki ja siihen pohjautuva neljäs törmäyslaki ovat Descartesin fysiikan suurimpia ongelmakohtia.

10. Descartesin liikelait

Descartesin liikelait olivat vakuuttava yritys saada korvatuksi aristoteelinen fysiikka. Tämä kuitenkin epäonnistui. Osoitan tässä luvussa, että suurimmat syyt tälle ovat lakien sisäiset ristiriitaisuudet ja formalisoinnin puute. Lisäksi tutustun Descartesin *voiman* käsitteen ongelmalliseen luonteeseen.

10.1 Liike loogisena mahdollisuutena: äärettömyyden ongelma

Descartesin *Filosofian periaatteet* ilmestyi vuonna 1644 (Descartes 2003, 10). Siinä hän kirjoitti äärettömästä seuraavasti:

> *Emme vaivaudu vastaamaan niille, jotka kysyvät, onko äärettömän suoran puolikaskin ääretön, onko ääretön lukumäärä parillinen vai pariton, tai muuta sellaista (Descartes 2003, 46).*

Descartes mainitsee samassa selityksessä, että me kutsumme näitä asioita rajattomaksi, emme äärettömäksi. Kuten hiukan jäljempänä esitetty kirje Mersennelle paljastaa, Descartes ei pidä itse näitä matemaattisia ongelmia ratkaisemattomina tai mielettöminä, vaan on tarkka terminologiasta. Nämä muuttuisivat Descartesin mielestä mielekkäiksi kysymyksiksi, jos sanan ”ääretön” tilalle vaihdettaisiin ”rajaton”. Kuten Descartesin kirjoittamista kirjeistä nähdään, Descartes ei itse ole pitänyt kiinni tästä periaatteestaan ennen vuotta 1644 eikä sen jälkeenkään, vaan levittää monessa kohdin sanaa ”ääretön”, kun on puhe esimerkiksi rajattomista matemaattisista kohteista. Ehkäpä Descartesin terminologia ei saavuttanut sellaista suosiota kuin hän itse olisi toivonut, ja Descartes luopui sen vuoksi tästä ideasta. Joka tapauksessa Descartesin analyysi äärettömästä tai rajattomasta on erittäin mielenkiintoinen.

Descartesin skeptinen metodi velvoitti filosofin etsimään ennen kaikkea liikkeen mahdollisuutta logiikan keinoin. Tämän Descartes selittää kirjeessään Clerselier’lle vuonna 1646: Zenonin *Akhilleuksen paradoksi* on asia, joka täytyy ratkaista jotta pystyisimme hyväksymään liikkeen olemassaolon. Mikäli Akhilleus kulkee kilpikonnaa jäljessä esimerkiksi metrin ja hänen nopeutensa on kymmenen kertaa kilpikonnaa suurempi, niin sinä aikana, kun Akhilleus on kulkenut virstan, kilpikonna on kulkenut 0, 1 virstaa. Kun Akhilleus on kulkenut tämän 0,1 virstaa, on kilpikonna kulkenut tänä aikana 0,01 virstaa, ja niin edelleen. Akhilleus ei koskaan voi saavuttaa kilpikonnaa, koska se ehtii aina kulkea jonkin matkaa, vaikka hyvinkin pienen, sillä aikaa kun Akhilleus on saavuttanut edellisen paikan, jossa kilpikonna oli. Paradoksi perustuu sille intuitiolle, että tämä toimenpide joudutaan tekemään äärettömän monta kertaa, eikä tämä siis ole mahdollista. Descartes kirjoittaa tiivistettynä aivan oikein:

> *Ja harha on siinä, että kuvitellaan, että tämä virstan yhdeksäsosa on ääretön suuruus, koska se jaetaan mielikuvituksessa äärettömän moniin osiin (Descartes 2005, 289).*

Onkin helppo laskea, että Akhilleen kulkema matka vielä äärettömän monen laskutoimituksenkin jälkeen on 1+0,1+0,01+… virstaa, eli 1,11111… virstaa, eli $1\frac{1}{9}$ virstaa[30]. Descartes edeltää tällä huomautuksella äärettömien sarjojen summateoriaa, joka todistaa sen, että luonnollinen intuitiomme on väärä: jos johonkin asiaan lisätään äärettömän monta kertaa jotain, lopputulos ei välttämättä ole ääretön. Tämä on näkemys jota nykymatematiikka ehdottomasti puoltaa.

Descartesin käsitys äärettömästä on muutenkin uskomattoman paljon aikaansa edellä. Kirjeessään Mersennelle 15.4.1630 hän kirjoitti:

> *Sanoitte, että ” jos kysymyksessä olisi ääretön suora, niin jalkojen ja sylien lukumäärä olisi siinä ääretön, ja niinpä jalkojen ääretön lukumäärä olisi kuusi kertaa niin suuri kuin sylien lukumäärä” –myönnän täysin. –” Näin ollen jälkimmäinen ei ole ääretön”. – Kiellän johtopäätöksen. – ”Mutta ei ääretön voi olla suurempi kuin toinen ääretön”. – Miksi ei? Mikä siinä olisi mahdotonta? (Descartes 2001, 270)*

Vastauksen tähän kysymykseen antoi Georg Cantor 1800-luvun lopulla. Hän osoitti, että jos murtoluvut sijoitetaan äärettömään 2*2-matriisiin, jossa kokonaisluvut ovat ensimmäisellä rivillä, murtoluvuilla on yksi yhteen-vastaavuus kokonaislukujen kanssa (Warren 1990, 56-57). Sen sijaan desimaalilukuja voidaan aina sijoittaa äärettömän paljon minkä tahansa kahden rivin väliin (0,5; 0,05; 0,005 jne), joten desimaalilukujen joukko on ”mahtavampi” kuin kokonais- ja murtolukujen joukko, vaikka ne ovat kaikki äärettömiä joukkoja. Näin ollen Descartes oli oikeassa siinä, että äärettömät voivat olla erikokoisia (vaikkakin tiukasti ottaen väärässä siinä, että jalkojen ja sylien ääretön joukko, joilla on yksi yhteen-vastaavuus, olisivat keskenään erikokoisia).

[30] Asia vaatisi matemaatikon mielestä hiukan tarkempaa perustelua, miksi numerosarjan 1,111… pitää olla ääretön. Todistus on kohtuu yksinkertainen ja ratkaistavissa Descartesin käytössä olevilla työkaluilla. Nähtävästi Descartes ei kuitenkaan halunnut nähdä tätä vaivaa ja viedä lukijan päähuomiota pois asian filosofisesta näkökulmasta.

Rajattomuus ja *äärettömyys* ovat Descartesilla erilaisia käsitteitä. Descartes kirjoittaa kirjeessään Chanut'lle 1647, että koska voimme kuvitella äärellisen maailmankaikkeuden taakse toisia avaruuksia ja näin myös materiaa (koska tyhjiötä ei ole), niin ne eivät ole kuvitteellisia, koska materia voi sijaita vain maailmassa, joten maailmankaikkeus tästä syystä on rajaton.

Äärettömäksi voidaan sanoa jotain, jolle on peruste olla ääretön, mutta rajattomaksi pitää sanoa sellaista, jolle ei ole perusteita sanoa olevan rajoja (Descartes 2005, 310). Samaa ideaa hän puolustaa Filosofian periaatteiden säännössä XXVII: rajattomuuden tapauksessa emme **huomaa** rajoja, mutta äärettömyyden tapauksessa **ymmärrämme positiivisesti**, ettei mitään rajoja ole (Descartes 2003, 47).

Descartes ei tarkemmin selitä ideaa, mutta ehkä tavoittelee tällä Jumalan ja äärettömän maailmankaikkeuden, tai Jumalan ja matematiikan eroa: vaikka kummatkin ovat rajattomia, ainoastaan Jumala on kaikilla tavoin ääretön. Emme koskaan tavoita suurinta mahdollista kokonaislukua eikä meillä ole mielikuvaa tällaisesta oliosta, koska se olisi ristiriitainen, koska voimme aina lisätä mihin tahansa suurimmaksi kuviteltuun kokonaislukuun yhden yksikön lisää, mutta meillä on selkeä käsitys Jumalasta täydellisenä olentona.

Descartesin käsitykset äärettömyydestä eivät kylläkään aina olleet oikeassa. Kirje Beecmanille 22.8.1634 paljastaa kiistan valonnopeuden äärellisyydestä, jota Beeckman puoltaa[31] ja jonka (havaintomahdollisuuden) Descartes kieltää. Beeckman oli yrittänyt erilaisin soihtukokein[32] katsoa, näkyisikö liikkeessä pitkillä matkoilla viivettä. Descartes väittää, että jos viive havaittaisiin, mullistaisi se koko hänen filosofiansa. (Descartes 2001, 280) Tekstin selityksessä mainitaan, että

> *Descartes sanoo selvin sanoin, että koko hänen filosofialtaan menee pohja, jos valon nopeus onkin äärellinen (Descartes 2001, 334)*.

Olen asian tulkinnasta jokseenkin eri mieltä. Descartes kirjoittaa:

> *On syytä panna merkille, ettei keskinäinen kiistamme liity niinkään kysymykseen, siirtyykö valo hetkessä vai ajassa (so. välittömästi vai viiveellä), vaan onnistuuko koe. (Descartes 2001, 280).*

[31] Huomaamme, että Beeckman oli tässäkin fysiikan kysymyksessä oikeammassa Descartesiin verrattuna.
[32] Myös Galilei suoritti vastaavanlaisia testejä.

Descartes on siis huolissaan siitä, *havaitaanko* viive, ei siitä, onko valolla jokin *periaatteellinen* äärellinen nopeus. Miksi näin? Descartes ei perustele tätä kirjeessään. Itse olen löytänyt kaksi mahdollista syytä Descartesin huolenaiheeseen. Ensimmäisen mukaan on meidän muisteltava, että Descartesin mukaan on vain kaksi tapaa saavuttaa tietoa ilman minkäänlaista erehtymisen pelkoa, *intuitio* ja *deduktio (luku 5.3)*. Intuitiolla tarkoitetaan puhtaan ja keskittyneen mielen vaivatonta ja tarkkaa käsitystä (Descartes 2001, 47).

Näemme esimerkiksi auringon taivaalla; ilmiselvä intuitioon perustuva vaivaton ja tarkka, yhdellä ja samalla kerralla saatu käsitys. Jos olettaisimme, että aurinko yhtäkkiä sammuisi, ja näkisimme yhä auringon säteet, intuitiomme pettäisi meidät, emmekä voisi luottaa kirkkaaseen ja selkeään havaintoon. Näin Descartesille ei jäisi enää elintärkeää intuition lähdettä varmuuden saavuttamisessa. Onko siis valon äärellinen nopeus vienyt pohjan Descartesin filosofialta?

Voidaan vastata, että vaikka aurinko sammuisi, ja valonsäteet tulisivat vielä maahan kahdeksan minuutin ajan, ne valonsäteet olisivat kiistatta todellisia- emmehän saa kirkasta ja selkeää käsitystä itse auringosta, vaan auringon valonsäteistä, ja näin ollen intuitiomme saama kuva auringon vaikutuksesta meihin olisi yhä paikkansapitävä. Aivan samalla tavalla, kuin ratsulähetti saapuu tuomaan meille kirjettä Pariisista Amsterdamiin, ja havaitsemme ratsulähetin selkeästi ja kirkkaasti Amsterdamissa, ei meidän ole tarkoituskaan saada intuition avulla havaintoa siitä, miten ja milloin ratsulähetti lähti Pariisista, vaan ainoastaan hänen saapumisestaan Amsterdamiin. Näin ollen päättelen, että Descartesin huoli hänen filosofiansa romahtamisesta on aiheeton.

Toinen syy on, että tämän ilmiön havaitseminen uhkaisi Descartesin rationaalisuuden periaatteita. *Järjen käyttöohjeiden* **säännössä IX** Descartes kertoo seuraavasti:

> *Ajatellaanpa, että tahtoisin esimerkiksi selvittää, pystyykö jokin luonnonvoima siirtymään yhdessä hetkessä toiseen paikkaan ja vieläpä koko matkan yhdellä kertaa (…). Tarkastelisin kappaleiden paikallisia liikkeitä, sillä koko asiassa ei ole mitään, mikä olisi helpompaa havaita aistein. Huomaisin, ettei ainakaan kivi voi silmänräpäyksessä liikkua paikasta toiseen, koska se on kappale (…). Sen sijaan voima voi liikkua ainoastaan välittömästi (…). Liikuttaessani esimerkiksi jonkin kepin päätä huomaan helposti, että voima, joka liikuttaa kepin tätä osaa, liikuttaa välttämättä samalla hetkellä kepin kaikkia muita osia, olipa keppi miten pitkä hyvänsä (Descartes 2001, 69-70).*

Descartes oli luonnontieteelliseltä kannaltaan sekä oikeassa että väärässä. Esine ei voi siirtyä paikasta toiseen äärettömällä nopeudella, mutta myöskään voimavaikutus, oli sitten kysymys mekaanisesta voimavaikutuksesta tai gravitaatiovoimasta, ei voi tehdä sitä. Esimerkiksi kepin toinen pää siirtyy nykytieteen mukaan vasta, kun voimaimpulssi on vaeltanut valon nopeudella kepin läpi. Esimerkiksi kuvitteellinen ja hypoteettinen ”täysin jäykkä ja taipumaton” keppi maasta aurinkoon siirtyisi auringon päässä vasta kahdeksan minuutin kuluttua siitä, mitä sitä työnnettiin maasta. Tämä on Descartesille uhka, koska deduktion ketju murtuu. Jos metrin pituisessa kepissä emme havaitse viivettä, emmekä kahden metrin, emmekä kolmen metrin, on deduktiivisen johtopäätösten mukaan väistämätöntä, että emme havaitse sitä minkään pituisen kepin kanssa. Deduktio ei siis toimi, vaan mukaan tulee jokin tuntematon tekijä, joka rikkoo päätelmämme.

Descartes ei koe minkäänlaista ongelmaa esimerkiksi siinä, että aurinko näyttää hänen mielestään varsin pieneltä, vaikka astronomiset lait todistavat sen olevan lähes käsittämättömän suuri, mutta kun kysymys on selkeistä ja kirkkaista aistihavainnoista jotka ovat meidän ymmärtämällämme asteikolla, täytyy koetut asiat Descartesin mukaan olla todenmukaisia. Tämä kaikki on Descartesin logiikan mukaista, kertoohan sama **sääntö IX** myös siitä, kuinka meidän tulee kiinnittää huomiota kaikkein pienimpiin ja helpoimpiin asioihin, joiden parissa on syytä pysytellä kunnes totumme näkemään totuuden tarkasti ja selkeästi (Descartes 2001, 68).

Miksi sitten toisaalta Descartes monessakin kohtaa huomauttaa aistien epävarmuudesta, ja kertoo *Filosofian periaatteissaan* esimerkin puun kasvamisesta: emme huomaa puun kasvua yhden päivän aikana, vaikka kiistatta puu kasvaa (Descartes 2003, 286-287)? Eikö meillä ole selkeä ja kirkas idea siitä, että puu ei kasva, ja deduktiivisesti voimme päätellä, että jos puu ei kasva tänään, ei se kasva huomennakaan eikä sitä seuraavana päivänä? Tätä Descartes ei mielestäni selitä kunnolla.

10.2 Voiman käsite Descartesilla

Voima on käsitteenä yksi Descartesin filosofian ongelmallisimmista asioista. Erityisen ongelmallinen se on kahdesta syystä: ensinnäkin Descartesin filosofia, kuten aiemmin on tullut todettua, perustuu *geometriaan*. Voiman käsitteessä ei ole mitään, mikä palauttaisi sen geometrisiin objekteihin, toisin kuin esimerkiksi nopeuden, paikan, tilavuuden tai lukumäärän tapauksessa. Tämä on eräs vaikuttava tekijä sille, miksi Descartes yritti mm. esittää painovoiman jyrkän mekaanisena ilmiönä. Esimerkiksi teoksessaan *Filosofian periaatteet* hän kirjoittaa:

(Demokritos) liitti kappaleisiin painon, jota minun ymmärtääkseni ei ole missään kappaleessa, kun sitä tarkastellaan yksinään, vaan vain sikäli kuin paino riippuu muiden kappaleiden sijainnista ja liikkeestä ja palautuu näihin (Descartes 2003, 287).

Tarkennuksena voidaan mainita, että Descartes tarkoittaa *tarkasteltavana olevan kappaleen välittömässä läheisyydessä eli kosketusvaikutuksessa* olevien kappaleiden sijaintia ja liikettä[33]. Täsmälliset syyt tälle esitetään *liitteessä 2*.

Descartesin fysiikassa voima ei ole ensisijaisen tärkeä käsite, toisin kuin nykyajan fysiikassa. Newtonin fysiikassa voima on kaikkien kappaleiden liikkeiden muutosten selitys. Descartesille aihe tuntuu olevan toissijainen päätellen siitä, kuinka vähän voiman olemusta pohditaan hänen fysiikkaa käsittelevissä kirjoituksissaan. Kuten Emily Grozhold asian ilmaisee, Descartes välttelee teemoja, joissa käsitellään voiman vaihteluita ajan funktiona, ja jotka ovat osoittautuneet nykyajan mekaniikan hedelmällisimmiksi ideoiksi (Grozhold, 1988, 245). Jo edellä mainitsemani Descartesin toteamus kirjassaan *Geometria* tukee tätä käsitystä (luku 5.4).

Hämmennystä aiheuttaa se, että Descartes kuitenkin toistaa sanaa **voima** todella usein teksteissään, ja monissa eri merkityksissä. On liikkeen voima (luku 10.4), joka samaistetaan liikemäärään (Hatfield 1979, 117), liikkumattoman kappaleen voima (luku 10.10), voima samaistetaan toimintaan (luku 9.1) ja jopa ”lingossa olevan kiven nuoran jännitysvoima osoittaa meille kiven liikevoiman määrän (Descartes 2003, 129)”. Tämä tavallaan on tosin nykyfysiikankin kanta, sillä voimavaikutus ympyräliikkeessä voidaan osoittaa Newtonin lakien mukaan yhtälöllä $F = m\frac{v^2}{r}$, jossa m=massa, v on kappaleen nopeus ja r on ympyräliikkeen säde, ja joka todellakin vastaa nuoran jännitysvoimaa, vaikka Descartes ei esitä voimalle minkäänlaista mittayksikköä. Kuitenkaan mitään *liikevoimaa* ei nykyfysiikassa ole olemassa.

Lisäksi Descartesin käsitteet muuttuvat ajan myötä: eräässä kirjeessään Thomas Morelle vuonna 1649 hän lähestyy huomattavasti enemmän nykyfysiikan käsitystä siitä, että voima vaikuttaa kappaleeseen ainoastaan impulssin eli törmäyksen aikana (Garber 1992, 280), Clerserierille hän ehdottaa taas, että voiman suuruus on suhteessa nopeuden muutokseen (Garber 1992, 244), joka taas on nykyfysiikkaa lähentyvä idea. Descartesin varhaisfilosofiassa voima oli koko ajan kappaleessa läsnä, esimerkiksi:

[33] On mielenkiintoista todeta, että jos tässä kohtaa ei muuten olisi tutkinut Descartesin fysiikkaa, voisi tätä lausuntoa pitää täysin yhteensopivana nykyfysiikan kanssa.

Liikkuvalla kappaleella taas on voima pysyä liikkeessä eli yhtä nopeassa ja samansuuntaisessa liikkeessä (Descartes 2003, 90-91).

Tästä Patrick Suppes on ytimekkäästi määrittänyt, että voima on Descartesille puhtaasti inertiaalinen (muutosta vastustava) käsite, joka ei sisällä lainkaan minkäänlaisia veto- tai työntövoimia(Suppes 1954, 150). Ottamatta huomioon Descartesin ristiriitaisuuden voiman määrittelyssä, pitää tämä määritelmä ainakin hänen pääteoksissaan hyvin paikkansa.

Descartes ei edes **määrittele** voimaa kunnolla. Luvussa 10.3 olevassa lainauksessa (Descartes 2003, 91-92) voiman ”määritelmä” on uskomattoman suuripiirteinen eikä ole millään lailla käyttökelpoinen. Edeltävässä esimerkissä nuoran jännite voiman määrän osoituksena pitää kyllä nykyfysiikankin mukaan paikkansa, mutta **liikevoima** terminä viittaa siihen, että voimavaikutus on kappaleen liikkeen suuntainen, eikä suuntaudu, kuten nykyfysiikassa, ympyrän keskipisteeseen. Siksi voiman käsite on luonnontieteellisessä mielessä yksi sekaisimpia ja ristiriitaisimpia käsitteitä Descartesin fysiikassa.

10.3 Voima filosofisessa mielessä

Voiman käsite Descartesin fysiikassa on sekä filosofisessa mielessä että luonnontieteellisesti yksi ongelmallisimmista asioista. Voiko voimavaikutus olla **kappaleessa itsessään**? Descartes kutsuu voimaa tavaksi, jolla liikkeen määrä voidaan välittää kappaleesta toiseen. Mutta jos voima on kappaleen modus, pitää paikkansa myös, että se ei voi esiintyä substanssista (kappale on Descartesille substanssi, kts. luku 8.1) irrallaan, eikä siis myöskään siirtyä substanssista toiseen, kuten liikkeen määrä ilmiselvästi siirtyy. Descartes oli tästä ongelmasta tietoinen, eivätkä hänen ratkaisuvaihtoehtonsa vastaa alkuperäiseen ongelmaan. (Clatterbaugh 1980, 399-400) Siispä on ilmeistä, että voima ei voi olla kappaleessa, tai ainakaan pelkästään kappaleessa, Descartesin metafysiikkaa tyydyttävällä tavalla.

Esimerkiksi Manchak, joka yrittää luoda kokonaiskuvan Descartesin voiman käsitteestä vertaillen sitä muiden tutkijoiden vastaaviin käsityksiin myöntää, että on epäselvää, miten voiman käsite voidaan yhdistää ulottuvaisuuden ideaan, joka on Descartesin fysiikan peruspilari. (Manchak 209, 296)

Metafyysiset selitysmallit tälle ovat seuraavat: Manchakin mukaan Gary Hatfield ehdotti vuonna 1979, että **voiman asettaja on Jumala**, joka siirtää kappaleiden liikkeen toisille kappaleille.

(Manchak 2009, 297). Voima ei siis ole kappaleen ominaisuus, vaan riippuu yksinomaan Jumalasta, joten problematiikka sen palauttamisesta materian ekstensioon raukeaa.

Manchak kuitenkin huomauttaa, että Descartes puhuu ”aineesta, jossa voima on”, joten Hatfieldin selitys ei ole tyydyttävä (Manchak 2009, 298). Lisäksi uskon itse, että Hatfield on sekoittanut newtonilaisen ja karteesisen fysiikan käsitteitä keskenään. Newtonin fysiikassa kappaleeseen, joka liikkuu eteenpäin hidastumatta tai kiihtymättä, ei vaikuta minkäänlaista voimavaikutusta. Kappaleen liike siirtyy toiseen kappaleeseen voimavaikutuksen kautta, kuten Hatfield ilmaisi asian. Mutta Descartesin fysiikassa asia ei olekaan näin, sen paljastaa voiman määritelmä itsessään:

> *Kappaleen voima (...) koostuu vain siitä seikasta, että kukin olio pyrkii säilymään samassa tilassa missä se on (…) lepotilassa olevalla kappaleella on voima pysyä levossa, ja liikkuvalla kappaleella taas on voima pysyä liikkeessään eli yhtä nopeassa ja samansuuntaisessa liikkeessä. Tätä voimaa tulee arvioida (…) sen koon, pinnan ja toisaalta myös liikkeen nopeuden ja niiden tapojen luontojen ja vastakkaisuuksien mukaan, joilla eri kappaleet kohtaavat toisensa. (Descartes 2003, 91-92)*

Tästä tekstikappaleesta voidaan päätellä seuraavat asiat:

1) Voima on (Descartesin varhaisfilosofiassa) läsnä kappaleessa joka hetki, jopa paikallaan pysyvässä kappaleessa. Newtonilaisessa mekaniikassa se on läsnä vain kappaleessa, jonka vauhti muuttuu.
2) Voima on kappaleen liikettä tai liikkumattomuutta aiheuttava suure. Sen suuruus liittyy jotenkin kappaleen liikemäärään eli tilavuuden ja nopeuden tuloon, mutta ei ole tarkalleen selvää, miten.

Varsinkin kohdasta 1) voidaan päätellä, että Jumala voiman asettajana on riittämätön teoria voiman lähteelle.

Martial Gueralt on taas esittänyt, että **voima on sekä Jumalan että kappaleen ominaisuus**. Hänelle kappaleen liike tai lepo ovat kappaleen moduksia, mutta voima on ominaisuus, jonka takia kyseiset modukset ovat olemassa. (Manchak 2009, 298) Tämän selitysmallin ongelma on siinä, että Descartesin Jumala on muuttumaton, ja voimavaikutukset muuttuvat kappaleissa koko ajan, kuten niiden nopeuskin. Jumala taas ei vaikuta Descartesin mukaan muuten kuin ”tavanomaisella suojeluksellaan” (kts. luku 10.9). Voiman myöntäminen edes jossakin määrin kappaleen modukseksi ei sovi Descartesin filosofiaan, koska sitä ei voida täsmällisesti palauttaa kappaleen ekstensioon, toisin kuin esimerkiksi kappaleen liike tai tilavuus (Manchak 2009, 299).

Garber on ehdottanut kolmantena vaihtoehtona, että **Descartesin voimakäsite on vain eräänlainen oikopolku kuvaamaan Jumalan vaikuttamia muutoksia kappaleissa**. Täten voiman problematiikka raukeaa, koska voimaa ei ole olemassa ontologisella tasolla (Garber 1992, 298). Tämä teoria on ehkä näistä kolmesta nerokkain, ja Descartesin monimutkainen käsitys voimaan vaikuttavista ominaisuuksista puoltaa tätä käsitystä.

Ongelma kuitenkin ilmiselvästi on se, että Descartes puhuu voimasta useassa kohdassa (luku 10.2), ja on vaikea selittää, miksi voimaa ei sitten Descartesin mukaan olisikaan olemassa (Manchak 2009, 299-300). Manchak esittää oman teoriansa, joka selittää useita aikaisempien selitysmallien ongelmia. Avukseen hän ottaa Alice Sowaalin teorian Descartesin primäärisistä, sekundaarisista ja tertiäärisistä substansseista[34]. Tämän mukaan voima yksittäisissä kappaleissa on ainoastaan tertiäärisen substanssin ominaisuus, joka ilmenee meille, mutta todellisuudessa voima sekundaarisessa substanssissa on muuttumaton (Manchak 2009, 309). Tämä sama Sowaalin teoria on parhain selitys liikkeen relativismin ongelmiin, ja on Manchakin mukaan ongelmattomin selitys myös Descartesin voiman käsitettä selittäessä.

Mikä näistä selitysmalleista sitten on oikeassa? Koska emme saa mistään Descartesin kirjoituksista tukea sille, että voima olisi suure samassa mittakaavassa kuin tilavuus, paino, nopeus tai liikemäärä eikä Descartes missään pyri palauttamaan voimaa ulottuvaisuuden käsitteeseen kuten hän tekee kaikkien suureiksi luokittelemiensa ominaisuuksien kanssa (Kts. luku 5.3), Garberin teoria tuntuu uskottavimmalta. Lisäksi Garber kirjoittaa, että ”pienimpien kausaalisten muutosten teoria”, jota käsittelen perusteellisesti luvussa 10.5 ja jonka modernin fysiikan vastinetta kutsutaan variaatiolaskennaksi, on Descartesilla ikään kuin korvannut voima-käsitteen.

10.4 Descartesin ensimmäinen liikelaki

Descartesin kaikki liikelait on kuvattu tiiviisti hänen teoksessaan *Filosofian periaatteet (toinen osa)*. Kuitenkin niiden perusteellinen tarkastelu vaatii niiden peilausta myös hänen filosofisiin näkemyksiinsä. Ensimmäinen laki kuuluu seuraavasti:

[34] Tätä Sowaalin teoriaa on käsitelty jo toisessa yhteydessä luvussa 8.1.

> *Jos kaksi kappaletta, vaikkapa B ja C, ovat aivan yhtä suuria ja liikkuvat aivan yhtä nopeasti, mutta B oikealta vasemmalle ja C suoraan sitä vastaan vasemmalta oikealle, niin niiden törmätessä ne kimpoavat ja sitten jatkavat liikettään, B oikealle ja C vasemmalle, menettämättä mitään osaa nopeudestaan.*

Tässä asiassa on hyvä mainita pari huomiota. Toisin kuin Newtonin fysiikassa, huomiota ei kiinnitetä *massaan* ja nopeuteen, vaan *tilavuuteen* ja nopeuteen.

Descartes ei suoraan mainitse, että liikemäärä on tilavuuden ja tilavuuden tulo, mutta tämä voidaan päätellä seuraavasta Descartesin kirjoituksesta:

> *Tämän vuoksi arvelemme, että kun yksi aineen osa liikkuu kaksi kertaa nopeammin kuin toinen, ja tämä toinen on kaksi kertaa suurempi kuin edellinen, niin pienemmässä on yhtä paljon liikettä kuin suuremmassa (Descartes 2003, 86).*

Tilavuuden ja nopeuden tulo on ”yksinkertaisin” yhtälö, joka täyttää nämä ehdot. Descartesin fysiikkaa käsittelevässä kirjallisuudessa ollaan yksimielisiä tästä yhtälöstä (esim. Clarke 1977, 58). Tästä nähdään kuitenkin, että fysikaalisissa tieteissä kvalitatiivinen selitys johtaa hyvin usein monitulkintaisuuksiin: yhtä hyvin nämä kriteerit täyttää yhtälö, joka kuvaa nopeuden potenssia tilavuuteen nähden, koska jos aine liikkuu nopeudella kaksi ja sen nopeus on kaksi yksikköä, on tämän kuvitteellisen kaavan mukaan laskettuna kappaleen liikemäärä $2^2=4$, mutta jos nopeus on yksi yksikköä ja liike on neljä yksikköä, on kappaleen liikemäärä $4^1=4$ eli sama kuin aikaisemmin. On kuitenkin esimerkiksi Leibnizin vastineeseen (luku 10.8) tai puhtaasti yksinkertaisimpaan selitysmalliin vedoten ilmeistä, että Descartes tarkoitti nopeuden ja tilavuuden tuloa.

Tilavuuden ottaminen kriteeriksi massan sijasta ei ole ristiriitaista Newtoniin nähden: kuten Descartes kirjoittaa, kappale on tiheä silloin, kun siinä ei ole huokosia, jotka ovat toisten kappaleiden täyttämiä tiloja, harva kun siinä on huokosia, joissa on toisten kappaleiden täyttämiä tiloja (Descartes 2003, s. 71-72). Täten voidaan nähdä, että Descartesin mukaan yksittäinen kappale on ulottuvuus, jolla on samat ominaisuudet, mukaan lukien tiheys.

Esimerkiksi vedellä kyllästetty sieni ei ole yksi kappale, vaan itse asiassa kaksi kappaletta. Koska kappaleen tiheys on suoraan verrannollinen sen massaan, on täysin sama, puhummeko tilavuudesta vai massasta. Tämä on kuitenkin hyvin epäkäytännöllistä, koska Newtonin fysiikassa voimme mitata kappaleen puntarissa määrittäessä sen liikemäärää (Descartes kutsui tätä liikkeen voimaksi, kts. esim Descartes 2003, s. 89), Newtonilaisessa fysiikassa meidän täytyy määrittää jokaisen tiheysominaisuuden täyttävä ulottuvuus omaksi kappaleekseen. Missä tahansa kappaleessa, jopa yhdestä aineesta koostuneissa kappaleissa, näitä tiheyseroja on mittaustarkkuudesta riippuen määrittelemättömän monia. Käytännössä näiden määritteleminen on mahdotonta. Esimerkiksi Desmond Clarke on kritisoinut samankaltaista ongelmaa Descartesin fysiikassa (Clarke 1977, 57).

Descartes on hyvin tietoinen tästä ongelmasta, sillä hän kirjoittaa:

> *Näiden sääntöjen soveltaminen on vaikeaa, koska kutakin kappaletta koskettavat samaan aikaan monet kappaleet, eikä mikään kappale maailmassa voi olla kaikista muista niin erotettu eikä niin täysin kova, laskelmasta, jolla määritetään miten paljon kunkin kappaleen liike muuttuu törmäyksestä muihin, voi tulla hyvin vaikea. (Descartes 2003, 93-94)*

Descartesin piirtämät mallikuviot kappaleesta B ja C ovat suorakulmioita, joilla on eri ulottuvuudet mutta sama tilavuus. Tämä lienee tahallinen havainnollistamiskeino, jossa kiinnitetään huomio nimenomaan kappaleen *kokoon*, ei sen *ulottuvuuksiin*. Descartes ei mainitse tässä laissa, että kappaleet kimpoavat törmäyksin jälkeen samaan suuntaan, mistä ne tulivatkin. Tämä on luonnollista, koska Descartes myös optiikan asiantuntijana oli tietoinen heijastuksen peruslaista: kappaleen (tai valonsäteen) tulokulma on sama kuin kappaleen lähtökulma. Tämä sääntö mainitaan Descartesin kirjoituksessa *Optiikka* (Descartes 2001, 180). Lisäksi samassa teoksessa hän vertaa valonsäteen kimpoamista useasti pallon kimpoamiseen pinnasta (esim. Descartes 2001, 182). Kappaleet kimpoavat samaan suuntaan vain, jos niiden kosketuspinnat ovat kohtisuoraan niiden tuloreittiä vasten.

Newtonin fysiikka on, edellä mainituin huomautuksin, täysin samaa mieltä Descartesin kanssa, *olettaen*, että kysymyksessä ovat kimmoisat eli elastiset kappaleet (esimerkiksi kaksi superpalloa). Kimmoton törmäys (esimerkiksi kaksi kiveä) eliminoivat toistensa liike-energiat eivätkä siis törmäysten jälkeen jatka kulkuaan mihinkään. Käytännössä mikään kappale ei ole täysin kimmoton tai kimmoisa, joten kaksi toisiaan päin heitettyä kiveäkin kimpoavat jonkin verran toisistaan, samoin kuin kaksi superpalloa menettävät osan liikkeestään kappaleiden sisäiseksi lämpöenergiaksi.

Descartes erottelee kappaleiden eroiksi esimerkiksi ”kovat” ja ”virtailevat” kappaleet, joista viimeksi mainittujen osat vetäytyvät helposti paikoiltaan eivätkä siis vastusta niitä päin liikkuvia käsiämme (Descartes 2003, 94). Virtailevilla kappaleilla Descartes tarkoittaa esimerkiksi vettä ja ilmaa.

Descartes erottelee myös kovat kappaleet ja pehmeät kappaleet siten, että kovat kappaleet eivät lakkaa liikkumasta iskeytyessään toiseen kovaan kappaleeseen, vaan kimpoavat vastakkaiseen suuntaan. Kun ne osuvat pehmeään kappaleeseen, ne luovuttavat kaiken liikkeensä helposti sille. (Descartes 2003, s. 89) Tämä muistuttaa hyvin paljon nykyfysiikan erottelua *kimmottoman* ja *kimmoisan* törmäyksen välillä. Ajatusta voidaan kuitenkin kritisoida helposti ainakin, jos oletamme, että kova tarkoittaa samaa kuin nykyään. Kova tarkoittaa sitä, että se ei voimavaikutuksen alla anna periksi rikkoutumatta. Esimerkiksi metalli tai kivi on kovaa, mutta lasi jopa vielä kovempaa. On kuitenkin selvää, että jos heitämme kiven kiviseinää kohti, Descartesin teorian mukaan kiven pitäisi kimmota seinästä aivan samalla nopeudella kuin mitä se siihen törmää. Tämä on ilmiselvästi väärin, koska miten lujaa heitämmekin kiven seinään, matka jonka se kimpoaa takaisin seinästä on vain murto-osa siitä matkasta, minkä esine kulkee heittäessämme sen seinään. Descartes tietysti myöntää, ettei mikään kappale ole tavallisesti täysin kova, ja tästä syystä laskutehtävä on käytännössä hyvin vaikea (Descartes 2003, 93-94), mutta näin suuret poikkeamat lasketusta lopputuloksesta ovat hyvin epäilyttäviä. Esimerkiksi moninkertaisia mitta- tai tilavuusvirheitäkään ei voida selittää astioiden tai mittalaitteiden epätäydellisyyksillä uskottavasti.

Descartes on tietoinen tästä ongelmasta: jokin ei täsmää, ja tämä ei selity sillä, että kappaleet eivät ole täysin kovia. Kirjeessään Silhonille vuonna 1648 hän kirjoittaa:

> *Ensiksi siis sanon teille, että mielestäni kaikessa luodussa materiassa on tietty liikemäärä, joka ei siis koskaan kasva tai vähene. Jos siis yksi kappale liikuttaa toista, se menettää liikkeestään sen verran kuin se antaa toiselle. Kun kivi putoaa korkealta maahan eikä ponnahda takaisin vaan jää lepoon, syynä on ymmärtääkseni se, että se tönäisee maata ja siirtää näin liikkeensä sille. Mutta jos sen liikuttama maa sisältää tuhat kertaa sen materian, se ei liikettä siirtäessään anna maalle kuin tuhannesosan nopeudestaan. (Descartes 2005, 319)*

Descartes oli oikeilla jäljillä, koska *Filosofian periaatteiden* kolmannessa luonnonlaissa hän kertoo tälle tarkemman syyn, joka liittyy kappaleiden kovuuteen ja pehmeyteen. On siis tulkittavissa, että kaikki esineet eivät ”menetä liikkeen nopeutta, vaan määräytyneisyyden”, riippuen siitä ovatko ne kovia vai pehmeitä. (Descartes 2003, 89). On syytä muistaa, että liikkeen törmäyslait koskevat vain ihanteellisia kappaleita, joita tarkastelemme seuraavaksi.

Descartesin mukaan täysin kova esine on täysin kimmoisa, kuten edellä olemme havainneet. Asiaan on mahdotonta ottaa kantaa nykyfysiikan valossa, sillä täysin kova esine tuottaa paradoksaalisia ilmiöitä, kuten äärettömän voimavaikutuksen sen törmätessä toiseen täysin kovaan esineeseen. Koska täysin kovan esineen muoto ei muutu törmätessä, täyttää se silti kimmoisan törmäyksen määritelmän. Kuten Descarteskin toki myöntää, täysin kova esine on vain raju yksinkertaistus todellisen maailman ilmiöistä. Kuitenkin reaalimaailmassa näemme, että suhteellisen kova aine, kuten kivi, metalli tai lasi on suureksi osaksi kimmotonta.

Richard Blackwellin mukaan Descartes oletuksena tarkoittaa *kimmoisaa* kappaletta kaikissa säännöissään (Blackwell 1966, s. 229). Väitteellä on omat hankaluutensa, sillä toisaalta kolmas liikelaki (luku 10.6) kuvailee selkeästi kimmotonta törmäystä. Descartesilla ei nähtävästi ollut tarpeeksi käsitteitä törmäysten ominaisuuksista, jotta voisi erotella nämä olennaisesti erilaiset liikkeet toisistaan. William Shea on päätynyt samaan lopputulokseen, ja on jopa sitä mieltä, että elastisen kappaleen määritelmän puuttuminen Descartesin törmäyslaeista on yksi niiden suurimmista ongelmista (Osler 1992, 515).

10.5 Descartesin toinen liikelaki

Descartesin toinen liikelaki kuuluu seuraavasti:

> *Jos B on hiukan suurempi kuin C, mutta tapaus on muuten edellisen kaltainen, niin tällöin vain C kimpoaa, ja molemmat liikkuvat samalla nopeudella vasemmalle (Descartes 2003, 92).*

Tässä kohtaa teksti on monitulkintainen, eikä englanninkielisen version, tai edes ranskankielisen alkutekstin lukeminen ratkaise tätä ongelmaa: tarkoitetaanko tässä sitä, että B ja C jatkavat *alkuperäisillä nopeuksillaan vasemmalle*, vai sitä, että molemmat jatkavat *yhtäläisillä, mutta tässä säännössä tarkemmin erittelemättömillä nopeuksilla* vasemmalle? Fyysikkona minun olisi houkutus valita jälkimmäinen tulkintatapa, koska silloin tämä sääntö kuvaisi Newtonin fysiikan mukaista kimmotonta törmäystä, jossa massat (koot) olisivat erilaisia. Kuitenkin Richard Blackwell huomauttaa, että tämä tulkinta rikkoo Descartesin perusfilosofiaa, tarkemmin ottaen liikkeen säilymisen lakia vastaan, jota kutsutaan myös Descartesin kolmanneksi luonnonlaiksi (Blackwell 1966, 230):

> *Jos liikkuva kappale törmää toiseen itseään voimakkaampaan, se ei menetä mitään osaa liikkeestään, ja jos se törmää itseään heikompaan, se menettää vain sen verran kuin se luovuttaa toiselle. (Descartes 2003, 89)*

Täten Descartes tarkoittaa nopeuksilla nimenomaan kappaleiden alkuperäisiä nopeuksia. Tästä voidaan tehdä mielenkiintoisia johtopäätöksiä. Descartesin kirje Clerselier'lle, Egmondissa 17.2.1645, Descartes tuo esiin kaksi liikkeen modusta:

> *Liikkeessä täytyy aina ajatella kahta eri modusta: toinen on itse liike tai nopeus*[35]*, ja toinen on tämän liikkeen määräytyminen tiettyyn suuntaan, ja näiden modusten muutos on yhtä vaikeaa. (Descartes 2003, 389)*

Lisäksi hän kirjoittaa samalla sivulla toisenkin lain:

> *Kun kaksi kappaletta kohtaa ja niillä on yhteensopimattomat modukset, niin näissä moduksissa tosiaan täytyy tapahtua jokin muutos, jotta ne tulisivat yhteensopiviksi, mutta tämä muutos on aina pienin mahdollinen. Toisin sanoen, jos niistä voi tulla yhteensopivia tietyllä modusten määrän muutoksella, niin suurempi määrä ei muutu. (Descartes 2003, 389)*

Jotta voisimme ymmärtää, mitä Descartes tarkoittaa, meidän täytyy ymmärtää, mikä on *modus*. Descartes kirjoittaa moduksista seuraavasti:

> *Keston, järjestyksen ja lukumäärän ymmärrämme myös hyvin tarkasti, jollemme liitä niihin mitään substanssin käsitteestä vaan arvelemme kunkin asian keston olevan vain modus, jonka kautta käsitämme tuon asian sellaisena, että se pysyy olemassa. Vastaavasti järjestys ja lukumääräkään eivät ole mitään järjestetyistä ja lasketuista asioista erillisiä. Ne ovat vain moduksia, joiden kautta tarkastelemme näitä*

[35] On hyvin tärkeää huomioida, että Descartes yhtäläistää nämä kaksi käsitettä, sillä nykyajan fysiikassa *liike* tai *vauhti* on skalaarisuure (ottaa huomioon vain ensimmäisen Descartesin moduksista), *nopeus* vektorisuure (ottaa huomioon molemmat modukset).

> *asioita(…). Kun tarkastelemme sitä, että substanssi on näiden vaikuttama tai muuntelema, kutsumme näitä moduksiksi. (Descartes 2003, 56-57)*

Jotkut näistä moduksista ovat olioissa ja toiset ajattelussamme, mutta modus itsessään tarkoittaa tässä yhteydessä[36] samaa kuin yleensä *määre* tai *kvaliteetti* (Descartes 2003, 56-57). Myös liike ja lepo ovat liikkuvan kappaleen eri moduksia (Descartes 2003, 81). Tämä ei ole ristiriidassa Descartesin liikkeen relativismin kanssa, sillä koska modus voi olla ajattelussamme, niin voimme tilanteesta riippuen tunnistaa sekä liikkeen että levon moduksena, vaikka itse fysikaalinen tilanne on täysin sama.

Olisi mielenkiintoista tietää, millä perusteella Descartes näin väittää. Ehkäpä hänen kirjeenvaihtoystävänsä ja aikalaisensa Pierre Fermat'n optimointiteoriat[37] rohkaisivat kokeilemaan samaa optimointia myös mekaniikkaan. Tässä tapauksessa Descartes oli aikaansa edellä ja fysiikan merkittävän haaran, *variaatiolaskennan*[38], periaatteen isä. Valitettavasti vain fysiikan perussäännöt, joiden varaan hän yrittää teoriaansa rakentaa, olivat virheellisiä ja huonosti formalisoituja, eikä Descartesin aikana vielä tunnettu integraalilaskentaa, johon väistämättä joudumme variaatiolaskennassa tukeutumaan.

Bunnin mukaan on yleisesti tunnettua, että ”vähimmän työnteon fysiikka” on johdettu Galileon ja Newtonin liikelaeista (Bunn 1995, 421). Sikäli kun puhutaan mekaniikan liikelaeista, näin on välttämättä, koska ennen Newtonia ei ollut olemassa tarpeeksi hyvää ja ristiriidatonta teoriaa, josta olisi voitu lähteä liikkeelle. Kuitenkin osia vähimmän työnteon fysiikasta on nähtävissä jo Fermat'n matematiikassa ja Descartesin filosofiassa. Jo Heron Aleksandrialaisella oli eräs variaatiolaskentaan liittyvä teoria, mutta tämä oli niin yksinkertainen, ettei sen pohjalta kyetty rakentamaan yleisempää teoriaa (Bunn 1995, 425). Beeckmanin fysiikan teorian lisäksi (luku 7.1) tämä tukee sitä, että Descartesin fysiikka otti ulkopuolisia vaikutteita eivätkä liikelait ole puhtaasti Descartesin omaa työtä.

[36] ”Tässä yhteydessä” on tärkeä ilmaisu. Muualla Descartes määrittelee näiden rajoja tarkemmin, kts. luku 8.1.

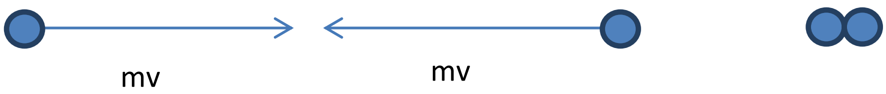
[37] Nykyajankin fysiikassa mukaan tunnetaan Fermat'n taittumislaki: kahden aineen rajapinnassa valonsäde kulkee sitä reittiä pitkin, joka on ajallisesti kaikkein lyhin.

[38] Variaatiolaskennan periaate mekaniikassa voidaan kiteyttää yhteen lauseeseen: mekaniikassa kaikki muutokset tapahtuvat aina pienimmällä mahdollisella työllä. Idea on äärimmäisen yksinkertainen, mutta sen pukeminen matemaattiseen muotoon on hyvinkin vaikeaa. Variaatiolaskenta laajemmassa mittakaavassa käsittää kaikki yleistetyt funktioiden optimointiongelmat. (Juutinen 2005, 2).

Joka tapauksessa kahden kappaleen törmäyksestä tulee yhteensopiva vain suunnan muutoksella, joten kappaleiden nopeuden ei tarvitse muuttua. Tämäkin kirjeenvaihto puoltaa Blackwellin tulkintaa Newtonin toisesta liikelaista. Blackwell toteaa aivan oikein äärimmäisen tärkeän luonteen Descartesin liikkeen filosofiasta: Descartesille liikkeen voima, tai kuten nykyään sanotaan, liikemäärä, tilavuuden ja nopeuden tulo, ei ole vektori- vaan *skalaarisuure,* toisin kuin Newtonin fysiikassa (Blackwell 1966, 230). Näin ollen Blackwellin mukainen tulkinta Descartesin toisesta luonnonlaista ei ole myöskään ristiriidassa säännön XXXVI kanssa:

> *Jumala on liikkeen ensisijainen syy ja hän myös aina säilyttää liikkeen määrän maailmankaikkeudessa (Descartes 2003, 86).*

Liikkeen suunnan vaihdos ei ole Descartesin käsitteistössä vielä liikkeen määrän vaihtumista. Esimerkiksi kahden kappaleen kimmoton törmäys, jossa samanmassaiset, samalla nopeudella vastakkaisiin suuntiin liikkuvat kappaleet törmäävät toisiinsa ja jäävät kiinni tarrautuneina paikoilleen ei ole Newtnonin mukaan liikemäärän muuttumista, sillä alkutilanteen liikemäärät laskettuna yhteen mv+(-mv) (tai jos korvaamme massa m tilavuudella V homogeenisen esineen tapauksessa Vv+(-Vv)), on yhtä kuin lopputilanteen liikemäärä, jossa liikettä ei ole ja jonka liikemäärä on yhtä kuin nolla. Descartesin mukaan tässä tapahtuu liikemäärän muutos, joka on alussa 2Vv ja lopussa nolla.



Kuva 4. Tämä kuvio kuvaa liikemäärän säilymistä Newtonin fysiikassa kimmottoman kappaleen tapauksessa. Alkutilanteen liikemäärä, joka on vektorisuure, on aivan yhtä suuri kuin vektoreiden summa, joka on nollavektori, eli kaksi vastakkaista vektoria laskettuna yhteen. Descartesin fysiikassa liikemäärä on muuttunut.

Descartes ei kuitenkaan ollut ristiriitainen, sillä kuten jo aikaisemmin on käynyt ilmi, hänen mielestään tyhjiötä ei ole olemassa. Näissä kahdessa törmäävässä kappaleessa liikemäärä on muuttunut, mutta liikemäärän on täytynyt pysynyt samana, kun otamme huomioon myös näihin välittömästi yhteydessä olevat muut kappaleet, eli Descartesin mainitseman maailmankaikkeuden.

10.6 Descartesin kolmas liikelaki

Descartesin kolmas liikelaki kuuluu seuraavasti:

> *Jos kappaleiden ainemäärät ovat yhtäläiset, mutta B liikkuu nopeammin kuin C, niin molemmat jatkavat liikettä vasemmalle. Lisäksi B luovuttaa C:lle puolet nopeudesta, jolla se on sitä nopeampi. Tämä tarkoittaa sitä, että jos B:n nopeus on aluksi kuusi yksikköä ja C: neljä, niin törmäyksen jälkeen kumpikin suuntautuu vasemmalle viiden yksikön suuruisella nopeudella. (Descartes 2003, 92)*

Tämä kuvaa myös nykyajan fysiikassa tunnettua kimmotonta törmäystä[39], tosin nopeudet eivät pidä paikkansa. Kun esimerkiksi 1 kg:n kimmottomat pallot törmäävät toisiinsa 4 km/h ja 6 km/h vauhdilla, molemmat pallot suuntautuvat törmäyksen jälkeen kevyemmän kappaleen suuntaan nopeudella 1 km/h (Todistus liitteessä 3). (1 kg*4 km/h)-(1 kg*6 km/h) = -2 kgkm/h ja 2 kg*(-1 km/h)= -2 kgkm/h, ja liikemäärän säilymislaki pätee kimmottomassakin törmäyksessä.

Miksi sitten Descartes esittää nämä luvut? Meidän täytyy jälleen muistaa, että liikemäärä/liikkeen voima on skalaarisuure Descartesille. Tästä syystä koon ja nopeuden tulo täytyy systeemissä olla sama. Siispä, jos kappaleiden ainemäärät ovat yhtä kilogrammaa vastaavat, on niiden liikemäärät alussa (1 kg*4 km/h)+(1 kg*6 km/h) ja lopussa (1 kg*5 km/h)+(1 kg*5 km/h) ja kummankin lopputulos on sama, 10 kgkm/h. Jälleen on syytä muistaa, että Descartes ei näitä laskuja esittänyt, mutta epäilemättä tämä ajatus hänellä on ollut takana tässä liikelaissa.

Filosofisessa mielessä erikoista on kuitenkin se, että Descartesin relativismin mukaan tilannehan olisi sama, jos toinen kappale olisi paikallaan ja toinen törmäisi siihen 10 km/h nopeudella. Kuitenkin kuudes liikelaki (luku 10.10) kertoo, että tässä tapauksessa nämä kimpoaisivat toisistaan. Myös Blackwell on päätynyt samaan lopputulokseen (Blackwell 1966, 227). Tämä ristiriita vaivaa Descartesin filosofiaa, vaikka tämänkin ongelman ratkaisuksi on esitetty muutamia malleja (Kts. luku 8.1).

Descartesin neljättä liikelakia olen jo käsitellyt siihen liittyvän kolmannen luonnonlain kanssa luvussa 9.3.

[39] Kimmoton törmäys voidaan helposti mieltää kahden toisiinsa tarrautuvan esineen törmäykseksi. Myös toisiinsa tarrautumattomat kimmottomat esineet ovat toistensa lähellä myös törmäyksen jälkeen, mutta koska mikään tarrautumaton esine ei ole täysin kimmoton, eroavat tällaiset esineet aina ainakin hiukan erilleen toisistaan.

10.7 Descartesin viides liikelaki

Descartesin viides luonnonlaki kuuluu seuraavasti:

> *Jos levossa oleva kappale C on pienempi kuin B, niin riippumatta siitä kuinka hitaasti B liikkuu kohti C:tä, se liikuttaa tätä mukanaan. C luovuttaa B:lle nimittäin sellaisen osan omasta liikkeestään, että molemmat voivat sen jälkeen liikkua yhtä nopeasti. Jos nimittäin B on kaksi kertaa suurempi kuin C, se luovuttaa tälle kolmasosan liikkeestään, koska yksi tällainen kolmasosa liikuttaa kappaletta C yhtä nopeasti kuin kaksi muuta kolmasosaa liikuttavat kahta kertaa suurempaa B:tä. Niinpä kun B on törmännyt tähän C:hen, sen liike on kolmasosan hitaampaa kuin aikaisemmin, eli tarvitaan yhtä paljon aikaa kahden jalan pituisen matkan kulkemiseen kuin aikaisemmin tarvittiin kolmen jalan suuruiseen matkaan. Samalla tavalla, jos B olisi kolme kertaa suurempi kuin C, se luovuttaisi tälle neljäsosan liikkeestään, ja niin edelleen. (Descartes 2003, 92-93)*

Tämä monisanaisesti ja pitkällisesti selitetty laki on oikeastaan vain tarkennos liikelakiin kolme: liikemäärä skalaarisuureena säilyy törmäystilanteen jälkeen. Jos kappale B:n tilavuus on kahta kg:tä vastaava ja kappaleen C yhtä kg:tä vastaava, ja kappale B kulkee 3 km/h, niin törmäyksen jälkeen kumpikin liikkuu nopeudella 2 km/h isomman kappaleen liikeradan suuntaan. Jos kappale B on 3 kg ja kappale C 1 kg, ja kappale B kulkee 4 km/h, niin törmäyksen jälkeen kumpikin liikkuu isomman kappaleen suuntaan 3 km/h. Toisin sanoen **kappaleiden yhteenlasketut nopeuden ja koon/massan tulot ovat törmäystä ennen ja törmäyksen jälkeen samat**. Tämä tärkeä periaate toistuu kaikissa liikelaeissa. Isompi kappale luovuttaa liikettään ja pienempi ottaa sitä yhtä paljon vastaan, jotta kummatkin liikkuisivat yhtä nopeasti. On selvää, että Descartes on tässä lähellä suurta edistysaskelta: jos kappaleiden liikkeet olisivat vektorisuureita, tätä kutsuttaisiin nykyfysiikassa *liikemäärän säilymislaiksi*, joka on nykyajankin fysiikassa yksi tärkeimpiä kinematiikan peruslakeja.

Eräs relativismin aiheuttama ristiriita näkyy tässäkin: kun isompi kappale törmää pienempään, tapahtuu erilainen kimpoamistapahtuma, kuin jos pieni kappale törmää isompaan (vrt. neljäs törmäyslaki, luku 9.3)). Tämän ei pitäisi olla mahdollista, jos liike on liikettä vain suhteessa muihin kappaleisiin. Asiaa olen enemmän käsitellyt liikkeen relativismia käsittelevässä kappaleessa luvussa 8.1.

10.8 Sielu-ruumis-ongelma Descartesin mekaniikan valossa

On erittäin tärkeää huomata, että liikkeen voima on Descartesilla *skalaarisuure*. Liikkeen suuntautuneisuus on merkityksetöntä, sen nopeus on tärkeintä ja juuri sitä mitataan Descartesin väitteessä, että liikkeen voiman määrä säilyy vakiona maailmankaikkeudessa. Miten sitten Descartes selittää sen, että esimerkiksi ihminen pystyy luomaan liikettä, vaikkapa heittämään kiven, ja täten muuttamaan maailmankaikkeuden liikkeen voimaa?

Yleisesti tunnetun version mukaan Descartesin käpyrauhasessa olevan sielun kykyihin kuuluu liikkeen määräytyneisyyden muuttaminen, ja täten liikkeen kokonaismäärä säilyy maailmankaikkeudessa, vaikka sen suunta muuttuukin. Tämän kertoo mm. Bertrand Williams teoksessaan *Encyclopedia of Philosophy.* Yllättäen kumminkaan tämä väite ei ole Descartesilta itseltään peräisin, vaan sen on kirjoittanut Leibniz. Leibnizin aikoihin liikemäärän vakiosta myös vektorisuureena (eli suunnan muutos on liikkeen määrän vaihtumista, vaikka nopeus ei vaihtuisikaan) alkoi olla yhä suurempaa näyttöä.

Leibniz kiiruhti selittämään, miten tämä tukee enemmän hänen ennalta määritettyä harmoniaansa kuin Descartesin dualismia, ja oli varma siitä, että Descartes olisi epäilemättä päätynyt hänen lopputulokseensa, jos mekaniikasta olisi tiedetty hänen aikoinaan enemmän (McLaughlin 1993, 155).

Nykymekaniikan käsityksen mukaan mitään tällaista sielun kykyä muuttaa liikemäärien suuntaa ei tarvita. Vaikka mieli vaikuttaa ruumiiseen, ruumiin ja ulkopuolisen maailman liikemäärä säilyy samana. Kun heitän kiveä eteenpäin, pyörähtää maapallo samalla voimalla taaksepäin (määrällä, jota ei voida sen pienuuden vuoksi millään lailla todeta, mutta joka kumminkin on todellinen). Kun istuessani käännän päätäni vasemmalle, maapallo kiertyy oikealle, ja niin edelleen. Kuten Leibniz toteaa, ongelma on nimenomaan Descartesin kohtalokas virhe määrittää liikemäärä skalaarisuureena.

Vaikka asiasta on olemassa jonkin verran vastakkaista kritiikkiä, joka vetoaa lähinnä siihen, että Descartesin fysiikka koskee vain elotonta luontoa (McLaughlin 1993, 157), on McLaughlingin mukaan johdonmukaisinta olettaa, että Leibnizin tulkinta Descartesista on oikea, vaikka Descartes ei missään suoraan kirjoitakaan itse uskovansa tähän. Kirjeessään Mersennelle Descartes kertoo:

Voimaa tarvitaan ainoastaan, kun esineitä liikutetaan, ei, kun määritetään suuntia, joihin ne liikkuvat[40]*(Mclaughlin 1993, 158).*

Toisen kerran hän kirjoittaa Hobbesille:

esimerkiksi, kun heitän pallon seinään, seinä määrää sen, että pallo palautuu minulle, mutta se ei ole liikkeen syy (McLauglin 1993, 162).

Nämä kirjoitukset ovat täysin sopusoinnussa aiemmin esitetyn törmäysliikkeiden analyysin kanssa. Todettakoon, että nämä lainaukset ovat kuitenkin täysin nykymekaniikan vastaisia: esineen liikkuessa ei tarvita voimaa sen ylläpitämiseksi (ellei kitkaa huomioida), mutta aina kun liikkuvan esineen suuntaa muutetaan, voimaa tarvitaan. Myös pallon palautuminen vaatii seinän ja pallon välisiä voimavaikutuksia, joten seinä on liikkeen ”syy”. Todettakoon tosin, että ”liikkeen syy” ei ole yksiselitteisesti määriteltävä mekaniikan termi tässä tapauksessa.

Joka tapauksessa, Descartesin mukaan mieli toimii kuten kappaleen pinta törmäyksessä: se ei lisää eikä vähennä liikettä, mutta voi muuttaa sen suuntaa (McLaughlin 1993, 162). Onko sitten nykymekaniikassa sijaa itsenäiselle sielulle/mielelle ja sen kausaalisille vaikutuksille, kun tarkkailemme maailmaa pelkästään fysikaalisesti? Vastaus ei liene yllättävä: ei juurikaan. Sielun mahdollisuudet vaikuttaa maailmaan kausaalisesti ovat parhaimmillaankin rajoittuneet atomien kvanttimekaaniseen, tilastolliseen käyttäytymiseen, jonne voidaan sijoittaa sielun aiheuttamat ei-deterministiset vaikutukset.

Alkeishiukkasten paikka ja liikemäärä voidaan laskea vain todennäköisesti, ei kuten makromaailmassa, jossa biljardipallot törmäilevät toisiinsa aivan kuten laskemme. Tämä rajoitus ei johdu mittauslaitteiden rajoituksista, vaan maailman perusluonteesta. Useat filosofit, puhumattakaan fyysikoista, pitävät kuitenkin sielun etsimistä alkeishiukkasten sisältä aivan liian kaukaa haetulta idealta. Esimerkiksi Leibnizin ennaltamääritetty harmonia on kuitenkin yksi tapa kiertää tämä ongelma, joten fysiikasta tai filosofiasta emme luultavasti koskaan löydä todistusta, jolla sielu/mieli-ruumis-problematiikka onnistuttaisiin ratkaisemaan suuntaan tai toiseen.

Tyler Burgen tuomio siitä, että Descartesin dualismi on virheellinen malli, koska on ”käytännössä varmaa”, että jokaiseen psyykeen reaktioon on olemassa fysiologinen perusta (Burge 2010, 22) on

[40] Olennaista on kiinnittää huomiota siihen, että Descartes mainitsee ”voimaa tarvitaan”. Voimaa esiintyy Descartesin mukaan myös paikallaan pysyvässä kappaleessa, kuten mm. luvussa 9.3 on todettu.

hyvin ennenaikainen. Hilary Putnam selittää, että jotkut aivojen osat sisältävät väistämättä ominaisuuksia, jotka eivät ole määriteltävissä fysiikan ja kemian keinoin (Putnam 1981, 78), ja antaa ”sielulle” tai ainakin ”mielelle” tilaa toimia.

Kokonaisuudessaan Descartesin dualistinen maailmankuva tuntuu jäävän hiukan kesken. Kuten **liitteessä 2** olen osoittanut, Descartes pohti ilmeisesti kuolemaansa asti painon ja sielun analogiaa. Aivan kuten paino liikuttaa kappaletta, aivan samoin periaattein sielu voi liikuttaa ruumista. Noin 1,5 vuotta ennen kuolemaansa hän oli Arnauld'lle lähettämänsä kirjeen mukaan vakuuttunut siitä, että tämä paino, joka aiheuttaa kiven liikkuvaisuuden, on kiven substanssia, ei sen reaalinen kvaliteetti, aivan kuten sielu on oleellinen osa ihmistä: sieluhan on Descartesin mukaan liittyneenä koko ruumiiseen, ei vain tiettyyn osaan ruumista, ja on jakamaton, olisihan mieletöntä kuvitella puolikasta tai kolmasosa sielusta (Descartes 2005, 40). Ilmeisesti tämä Descartesin pohdinta jäi Einsteinin ”kaiken teorian” tapaan keskeneräiseksi pohdinnaksi: tekijä mietiskeli sitä kiivaasti kuolemaansa saakka, vastausta löytämättä.

10.9 Mekaniikan metafysiikka ja teologia

Tiedetään, että Descartes ajautui riitoihin aikaisemman ystävänsä, Regiuksen kanssa. Vaikka erimielisyydet koskivat filosofisia näkemyksiä, on esimerkiksi Descartesin kirjoituksessa *Huomautuksia erääseen ohjelmajulistukseen* (Descartes 2003, 321-341) hyvinkin voimakas kielteinen tunnelataus, jota ei yleensä kohtaa muissa Descartesin yleensä tieteellisen hillityissä ja muita kohtaan kohteliaissa kirjoituksissa. Gaukrogerin mukaan pääsyy erimielisyyksiin on siinä, että Regiuksen työ, joka koski pääasiassa Descartesin fysiikkaa, on vailla metafyysistä pohjaa, josta Descartes lähtee liikkeelle. Vaikka Descartesin fysiikka voi eräisiin tarkoituksiin olla riittävä sellaisenaan, toisiin tarkoituksiin se täytyy integroida tiiviisti Descartesin metafysiikkaan. (Gaukroger 2002, 66) Blake D. Dutton tukee tätä väitettä eri näkökulmasta: hän vertailee kahta aikansa johtavaa tiedemiestä, Galileo Galileita ja Descartesia.

Ei ole todisteita siitä, että Descartes ja Galileo Galilei olisivat koskaan tavanneet tai harrastaneet kirjeenvaihtoa. Silti Descartesin kirjeenvaihdosta voidaan päätellä, että Galileon kirja *Kaksi uutta tiedettä*, jossa hän esittelee mekaniikan johtopäätöksensä, on Descartesille hyvin tuttu. Galileo muuten taas ei: eräässä kirjeessään hän mm. sekoittaa Galileo Galilein tutkimukset hänen isänsä Vicenzo Galilein musiikin tutkimuksiin (Roger 2004, 133).

Eräässä kirjeessään Mersennelle hän kehuu Galileita hänen päätöksestään käyttää matemaattisia metodeja luonnontutkimuksessa, mutta kritisoi häntä siitä, että hän ei kiinnitä huomioita ensisijaisiin syihin eikä selitä asioita täydellisesti, vaan pikemminkin tutkii vain yksittäistapauksia. Siksi Galileon työ on vailla pohjaa (Dutton 1999, 51) .

Syy Descartesin kritiikille on ymmärrettävä. Galileo Galilei tutki lähinnä sitä fysiikan osa-aluetta, jota nykyään kutsutaan *kinematiikaksi*, ja joka tutkii kappaleen paikkaa ja vauhtia tietyllä ajanhetkellä tai aikavälillä: esimerkiksi kuulan putoamista tornista tai sen vierimistä kaltevalla kourulla. Vaikka Galileilla esiintyy myös mekaniikan käsitteitä, pitää hän niitä teoksissaan taka-alalla.

Descartes taas tutki sitä osa-aluetta, jota kutsutaan mekaniikaksi, ja joka tutkii kappaleiden törmäystilanteita ja näissä havaittavia lakeja, eli näitä *perimmäisiä syitä*, joista Descartes oli kovasti kiinnostunut, kirjoittaahan hän filosofian periaatteissaan, että kaikki eri aikojen suurmiehet (tarkoittaen nimenomaan filosofeja) ovat pyrkineet aina *ensimmäisiin syihin* ja *oikeisiin periaatteisiin*, joista voidaan johtaa perustelut kaikelle, mitä voidaan tietää (Descartes 2003, 27). Filosofi ei ole kiinnostunut niinkään kappaleen paikasta tai nopeudesta tai niiden muutoksista, vaan siitä, **mikä** saa kappaleen liikkumaan tai olemaan liikkumatta.

Descartes ei säästele selityksiään korostaessaan, että nimenomaan *Jumala* on kaiken liikkeen ylläpitävä voima ja näin keskeisessä roolissa kaikessa fysiikassa (Osler 1992, 518). Galileo Galilei ei johtanut fysiikkaansa Jumalasta eikä välittänyt metafysiikasta.

Toisaalta Galileon teoksessakin esiintyy jonkin verran myös filosofisia aspekteja. Hän muun muassa kritisoi Aristoteleen fysikaalisia käsityksiä painosta ja oli sitä mieltä, että jos kunkin esineen luonnollinen paikka määrittää sen, mitä esineet vajoavat tai kohoavat, emme sano muuta kuin sen, että toinen esine on painavampi kuin toinen (Cottingham 1986, 7), eikä tämä ole muuta kuin kehäpäätelmä. Mutta Galileo ei koskaan pohtinut, mitä paino on tai mistä se aiheutuu. Tämä oli Descartesin mukaan Galileon perimmäisin virhe.

Dutton esittää argumentin siitä, että Descartesin Jumalakäsitys olisi kaikkien hänen fysikaalisten törmäyslakiensa takana. Väite ei ole yllättävä, sillä Descartes puhuu monessa kohdassa Jumalan tärkeydestä mm. liikkeen säilyttäjänä. Eräässä kirjeessään Mersennelle Descartes selittää, että kaikilla ihmisillä, joille Jumala on suonut viisautta, pitäisi olla moraalinen velvollisuus valjastaa tämä viisaus ensisijaisesti Jumalan tuntemiseen, ja hän ei olisi päätynyt fysiikassaan näihin lopputuloksiin ilman tätä periaatetta. (Dutton 1996, 193)

Descartesin mukaan maailman luominen oli Jumalalle päätös, mutta tätä päätöstä ei suoritettu tiettyjen meille tuttujen rationaalisten normien tai ”hyvyyden” mukaan, koska Jumalallisuus itse luo tämän ”hyvyyden”. Ajattelu, jonka mukaan Jumala olisi jonkinlainen ”superihminen”, joka toimisi meidän ymmärtämällämme tavalla ja meidän moraalikäsitystemme mukaan, olisi selvästi Jumalan kaikkivaltiutta rajoittava käsitys. (Dutton 1996, 195-196).

Tällä periaatteella Descartes on voimakkaasti vastaan Aristoteleen ja myöhemmin skolastiikan opettamaa teleologista periaatetta vastaan, jossa jokainen olemassa oleva asiantila pyritään selittämään järjellisten syiden avulla. Maailma ei ole olemassa, koska se on syitä katsoessamme välttämätöntä, vaan yksinkertaisesti sen vuoksi, että Jumala päätti luoda sen. Ilmeisesti hänellä ovat omat syynsä, mutta ne ovat paljon syvempiä kuin mitä ihmistä varten luotu moraali ja järki meille opettavat.

Ilmiselvästi Descartes haluaa tässä ylistää Jumalan suuruutta, eikä koeta yrittää etsiä Leibnizin mukaista ”parasta mahdollista maailmaa”, josta käsin pystytään todistamaan Jumalan olemassaolo ja maailman välttämätön olemassaolo järkiperustein. Tälle löytyy myös joitakin teologisia perusteita esimerkiksi Jesajan kirjasta:

> *”Niin paljon korkeampi kuin taivas on maata, ovat minun tieni korkeammat teidän teitänne ja minun ajatukseni teidän ajatuksianne” (Jes.55:8-9).*

Jos siis maailmassa on merkkejä Jumaluuden olemassaolosta, missä ne ovat? Descartesin mukaan fysiikassa. Esimerkiksi hänen tärkein luonnonlakinsa ja sitä seuraavat törmäyslait

> *Jokainen olio omasta puolestaan säilyy aina samassa tilassa niin, että jos se kerran liikkuu, se jatkaa liikettä aina (Descartes 2003, 87).*

on selvästi todistus Jumalan *muuttumattomuudesta* (Dutton 1996, 199). Koska Jumala on muuttumaton ja tekee päätöksensä eikä muuta mieltään kuten ihminen tekee, koska on kaikkivaltiudessaan ja päätöksenteossaan erehtymätön ja muuttumaton, kerran asiat päätettyään hän vain pitää ne ”tavanomaisessa suojeluksessaan”. Jumala pyrkii säilyttämään liikkeet ja liikkeen voimat, jos niitä pysty törmäysten takia säilyttämään kussakin kappaleessa erikseen, niin ainakin universumissa kokonaisuudessaan. (Dutton 1996, 207) Descartes jopa selittää Raamatussa esiintyvät Jumalan sielun liikkeet, kuten vihan, vain tapana käyttää totuutta ”ihmiselle sovitettuna”, ei ”paljaana” (Descartes 2002, 124). Minkäänlaiset affektiot, jotka ovat hyvinkin satunnaisia ja saavat ajattelevan olion muuttamaan mieltään ja paljastavat olion epätäydellisyydet, eivät voineet olla Descartesin Jumalan ominaisuuksia.

Vaikka vain hyvin harva fyysikko tai filosofi pitää kappaleen mekaanisen tilan säilymistä enää nykyään vakuuttavana Jumalan olemassaolon todisteena, on tämä Descartesin filosofis-teologinen periaate hämmästyttävän tehokas fysiikassa. Klassisessa mekaniikassa tunnetaan liikemäärän ja liike-energian säilymislaki sekä pyörimismäärän säilymislaki, modernissa fysiikassa kvarkkien värivarauksen ja leptoniluvun säilymislaki, ja niin edelleen. Jostain syystä luonto haluaa aina säilyttää tilan mahdollisimman paljon entisen kaltaisena. Descartesille tämä syy oli Jumala.

Buttonin teologis-filosofinen analyysi, joka pitää yhtä oman matemaattisen osoitukseni kanssa, voi osittain selittää myös ”pienimmän muutoksen filosofian” Descartesin ajattelussa. Koska Jumala ei ole aktiivinen toimija vaan päättäjä, joka on päättänyt kaiken kaikkivaltiaassa viisaudessaan ja pitää asioita vain tavanomaisen suojeluksensa alla, tapahtuu muutos aina pienintä mahdollista vaivaa noudattaen. Näin Descartesin fysiikka saa **metafyysisen** pohjan, sen lait todistavat osaltaan Jumalan olemassaolon. Ne ovat lakeja, jotka ovat tulosta Jumalan luomistyöstä. (Nadler 1990, 361)

On suorastaan kohtalon ivaa, että variaatiolaskentaa ja ”pienimmän työn fysiikkaa” merkittävimmin kehittänyt fyysikko Pierre-Simon Laplace (1749-1827) oli kuuluisa ateisti. Nykyajan fysiikan eräässä tärkeimmässä periaatteessa kaikuu kummasti Descartesin teologia.

10.10 Descartesin kuudes liikelaki

Descartesin kuudes liikelaki kuuluu seuraavasti:

> *Jos levossa oleva kappale C on aivan täsmälleen yhtä suuri kuin sitä kohti liikkuva kappale B, niin C tulee osittain B:n sysäämäksi ja osittain torjuu sitä vastakkaiseen suuntaan. Nimittäin, jos B tulee kohti C:tä neljän yksikön suuruisella nopeudella, se antaa tälle C:lle yhden yksikön suuruisen voiman ja kimpoaa muiden kolmen suuruisesti vastakkaiseen suuntaan. (Descartes 2003, 93)*

Tässä kohden on muistettava, että Descartesin mukaan lepo, ei toinen liike, on liikkeen vastakohta (Descartes 2003, 87). Lepo vastustaa aina liikettä. Mikäli kappale C liikkuisi vähänkin, niin B luovuttaisi sille lähes puolet liikkeestään, jotta kappaleet kulkisivat yhtä nopeasti, kuten kolmas liikelaki meille kertoo. Tämä on intuitiivisesti epäuskottavaa, ja tämän varaan Leibniz laskikin oman kritiikkiinsä (luku 10.11). Muuta filosofista tästä liikelaista on vaikea kehittää.

10.11 Descartesin fysiikan ristiriitaisuuksia

On selvää, että nämä liikelait, ensimmäistä liikelakia lukuun ottamatta, ovat ristiriitaisia nykyisin hyväksyttyihin periaatteisiin nähden. Armitage on esittänyt tarkemmin asiaa perustelematta, että ne ovat myös keskenään ristiriitaisia (Armitage 1950, 8). Millaisia nämä perustelut sitten ovat? Desmond Clarke esittää yhden ristiriitaisuuden, joka tulee esille soveltamalla matematiikkaa tarkemmin Descartesin liikelakeihin:

Jos oletamme, että on kappaleet B ja C siten, että B törmää paikallaan olevaan kappaleeseen C ja on sitä pienempi. Q_b ja Q_c olkoon kappaleiden tilavuuksia. Oletetaan vielä, että V_b ja V_c ovat kyseisten kappaleiden alkunopeuksia ja V'_b ja V'_c kyseisten kappaleiden törmäysten jälkeisiä nopeuksia. Tällöin Descartesin toisen säännön mukaan

$Q_bV_b=Q_bV'_b + Q_cV'_c$

Samoin toinen sääntö sanoo, että kappaleiden nopeudet törmäysten jälkeen ovat samat, eli

$V'_b=V'_c$

Sijoittamalla yhtälöön V'_b:n paikalle V'_c, saadaan

$\mathbf{Q_bV_b = Q_bV'_c + Q_cV'_c}$. (Lemma 1)

Jos taas oletamme neljännen säännön mukaan, että $Q_c > Q_b$,

niin kerrottaessa tämä yhtälö V'_c:llä saamme

$Q_bV'_c<Q_bV'_c$

ja ratkaisemalla lemman 1) $Q_bV'_c$:n mukaan

$Q_bV'_b < Q_bV_b-Q_bV'_c$. Sijoittamalla viimeisen termin toiselle puolen yhtälöä saamme

$Q_bV'_b+Q_bV'_b < Q_bV_b$ eli $2Q_bV'_b < Q_bV'_b$ ja jakamalla Q_b:lla puolittain saamme yhtälön

$2V'_b < V_b$

joka kertoo, että kappale B:n loppuvauhti on alle puolet sen alkuvauhdista. Tämä taas on Descartesin fysiikan mukaan mahdotonta, koska neljäs liikelaki kieltää, että mikään kappale voisi luovuttaa yli puolta liikkeen voimastaan toiselle. Descartesin ensimmäinen liikelaki ja neljäs liikelaki ovat siis ristiriidassa keskenään. (Clarke 1977, 62)

Garber paljastaa kaksi muuta vakavaa ongelmaa Descartesin fysiikassa. Liikkeen määritelmästä tuntuu suoraan seuraavan, että liike yksilöi kappaleen, koska jokainen kappaleen osa, joka on liikkeessä samaan suuntaan yhtä nopeasti, kuuluu samaan kappaleeseen. (Garber 1992, 172) Esimerkiksi leipä säilyy aina samana kappaleena, vaikka sen ympärillä oleva ilma vaihtuisi toiseksi (Garber 1992, 177).

Ongelmana on kuitenkin se, että jos kappale pysyy paikallaan, sitä ei voi kappaleena erottaa toisesta paikallaan pysyvästä kappaleesta eikä paikallaan pysyvää kappaletta voida itse asiassa edes erottaa kappaleeksi (Garber 1992, 178). Liike on jopa ainoa kappaletta määrittävä tekijä, sillä Descartes linkittää kirjassaan *Maailma* yhteen *liikkeen* ja *keston*, aivan kuten muodon ja ulottuvuuden (Garber 1992, 174).

Mikä vielä pahempaa, Leibnizin kritiikin mukaan minä tahansa hetkenä kappaleita ei pystyttäisi erottamaan ollenkaan, koska nolla-ajassa niillä ei ole mitään havaittavaa liikettä, joka erottaa ne toisistaan (Garber 1992, 180).

Leibniz huomaa myös toisen vakavan ongelman Descartesin fysiikassa: säilymislain. Olettakaamme kaksi kappaletta: neljän yksikön kokoisen yhden yksikön nopeudella etenevän kappaleen ja yhden yksikön kokoisen neljän yksikön nopeudella liikkuvan kappaleen, joita nimitämme kappaleeksi A ja kappaleeksi B. Lisäksi Galileon säännön mukaan kappaleen nopeus on verrannollinen ylöspäin liikkuvan kappaleen nopeuden neliöjuureen.

Tämä Galileon säännön versio voidaan johtaa (mikäli hyväksymme tasaisen kiihtyvyyden periaatteen) perusyhtälöistä $v = \frac{x}{t}$ ja v=at, joissa

v=kappaleen vauhti

a= kappaleen kiihtyvyys

x= kappaleen kulkema matka

t= aika, jona kappale kulkee halutun matkan

koska $t = \frac{x}{v}$, on $v = a\frac{x}{v}$, ja koska a eli kiihtyvyys on pienillä matkoilla käytännössä vakio, niin

$$v \sim \frac{x}{v}$$

jolloin

$v^2 \sim x$ (nopeuden neliö on suhteessa kuljettuun matkaan)

jolloin saamme yhtälöksi

$$v \sim \sqrt{x}$$

Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jos kappale heitetään yhden yksikön nopeudella ilmaan, se saavuttaa lakikorkeutensa mittayksiköissä seuraavan taulukon mukaan (huomaa, että mittayksiköiden ei tarvitse olla m/s ja m, vaan sama pätee myös missä tahansa muussa vauhdin yksikössä, kuten esim. solmua/minuutti):

Vauhti ylöspäin (v)	Lakikorkeus (x)
1	1
2	4
3	9
4	16

Taulukko 1. kappaleiden lakikorkeudet nopeuden mukaan laskettuna. Tässä tarkastelussa ei ole tarpeen katsoa, mitä nämä nopeuden ja pituusmitan yksiköt tarkalleen ovat, vaan niiden väliset suhteet ovat paljon tärkeämpiä.

Ongelma on siinä, että kappale A onnistuu kohoamaan yhden mittayksikön ylöspäin, mutta kappale B pystyy kohoamaan 16 mittayksikköä ylöspäin, vaikka ne sisältävät Descartesin mukaan saman liikemäärän. Jälkimmäinen on neljä kertaa ”suurempi” ilmiö. Koska termiä ”potentiaalienergia” ei ollut vielä Leibnizin aikana keksitty, ajatteli Leibniz todennäköisesti neljän yksikön kokoisen kappaleen neljänä yhden yksikön kappaleena, jolloin näemme selvästi, että B:n vaikutus on neljä kertaa suurempi. Tämän periaatteen mukaan pystyttäisiin rakentamaan itsestään liikettä tuottava kone, mikä on selvästi mahdotonta, joten jotain on vialla Descartesin liikkeen säilymislaissa. (Garber 1992, 209) Descartes siis aivan selvästi ei ollut havainnut oikein, *mikä* säilyy. Tämä ongelma johti Leibnizin hahmottelemaan toisen kappaleen ominaisuuden (Garber 1992, 210), joka nykyään tunnetaan termillä *liike-energia*. Olemme siis jälleen löytäneet yhden Descartesin fysiikkaan liittyvän ristiriidan.

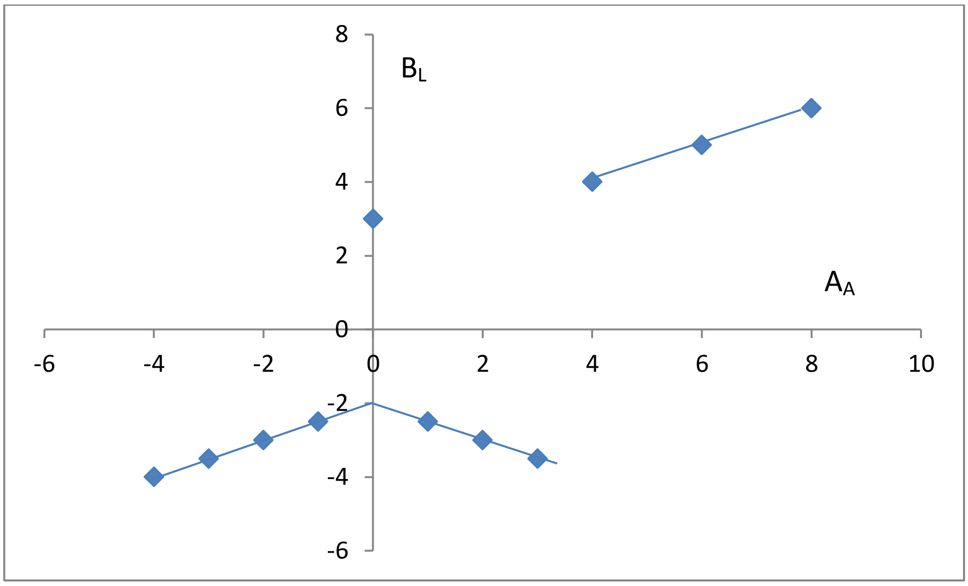
Myös Jorgensen on käsitellyt erästä Descartesin fysiikan ongelmakohtaa, jota Leibniz kritisoi: tämän jatkuvuuden puutteetta. Leibnizin jatkuvuusperiaatteen mukaan: *jos kahden arvon välistä eroa tietyllä sarjalla pienennetään, myös vastaavan eron niiden tulosten eroissa täytyy pienentyä. (Jorgensen 2009, 224)*

Sovelletaan tätä Descartesin fysiikkaan ja etenkin hänen liikelakeihinsa 1 ja 3, joita olemme käsitelleet yksityiskohtaisemmin gradussani. Liikelaki 1) sanoo, että kaksi yhtä suurta kappaletta kimpoaa toisistaan törmätessään, mutta liikelaki 3) sanoo, että jos toinen on hiukankin suurempi, kummatkin kappaleet liikkuvat tämän suuntaan. Tämä rikkoo Leibnizin periaatetta vastaan, koska vähäinen muutos alkutekijöissä saa aikaan dramaattisen tuloksen lopputuloksissa. (Jorgensen 2009, 229)

Tässä vaiheessa tulee mieleen kysyä, onko Leibnizin jatkuvuuden periaate sitten oikea? Heti alkuun täytyy todeta, että tämä periaate ei ole mikään **luonnonlaki** eikä todistettavissa muuten kuin aihetodistein. Fysiikassa onkin paljon erilaisia esimerkkejä, joissa pienikin muutos aiheuttaa valtavan muutoksen joissakin toisissa mitattavissa asioissa. Ajatellaan esimerkiksi kahta metallilevyä, joiden välissä on jännite: jännitteen ylittäessä tietyn raja-arvon metallilevyjen jännitepiikki iskee välissä olevan eristeen läpi ja tasaa jännitteet. Pallo voi olla jyrkänteen reunalla, josta pienikin töytäisy saa sen tippumaan alas. Pienikin lämpötilan muutos saa nesteen jäätymään tai kiinteytymään tietyn raja-arvon jälkeen. Mutta kaikissa näissä on sama suunta: jos esimerkiksi kahden levyn jännitteen läpilyöntiraja on, sanotaan, tasan 712 volttia, 711 voltissa ei tapahdu vielä mitään. Jos tämän jännitteen ja jännitteen 712 välistä eroa pienennetään, lopputulokset eivät koskaan ole mittavampia. Koskaan ei ole niin, että 711,5 voltissa tapahtuu jotain mittavampaa kuin 712 voltissa. Koskaan ei siis myöskään ole niin, että kun nopeuksia samankaltaistetaan, lopputulosten (kappaleiden suunnan ja nopeuden) ero kasvaisi. Näin käy kuitenkin Descartesin mukaan, kun kappaleiden nopeudet eivät ole esimerkiksi 7 yksikköä ja 6,9999 yksikköä, vaan 7 yksikköä ja 7 yksikköä.

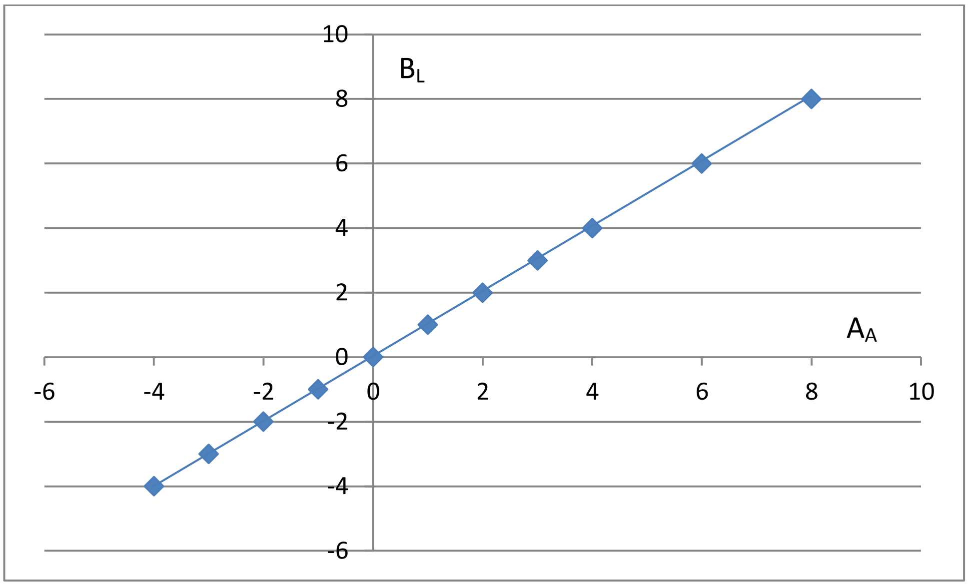
Klassisessa mekaniikassa en ole keksinyt mitään, mikä rikkoisi Leibnizin lakia. Todennäköisesti kvanttimekaniikasta sellaisia esimerkkejä kuitenkin löytyisi, mutta se menee tutkielman aihepiirin ulkopuolelle.

Jorgensen on itse laskenut (Jorgensen 2009, 230) taulukkoon Descartesin sääntöjen mukaan lasketut kappaleen A alkunopeudet (A_A) ja kappaleen B loppunopeudet (B_L):



Mikä eniten häiritsee Leibnizin filosofiaa, on juuri tämä epärationaalinen hyppäys pystysuoran akselin nollakohdassa, joka rikkoo Leibnizin jatkuvuuden säännön, sanoin toinen epäjatkuvuuskohta vaakasuoran akselin arvolla 4. Jos kappaleen A ja B alkunopeudet ovat kummatkin vaikkapa 8 ja -8 yksikköä tai 7,9 ja -7.9 yksikköä, lopputulos on radikaalisti erilainen, kuin jos nopeudet olisivat esimerkiksi 7,9 ja -8,0 yksikköä. Tämä hyppäys, jossa kappaleen B loppunopeus on välillä alkunopeuden suuruinen ja välillä nolla on intuitiivisesti epäuskottava.

Leibnizin oma ratkaisu kertoo, että kappaleen A alkunopeus on sama kuin kappaleen B loppunopeus seuraavan graafin mukaisesti (Jorgensen 2009, 231):



Miten sitten Leibnizin ehdotus, joka selkeästi perustuu hänen jatkuvuusperiaatteeseensa, on arvoitavissa nykytieteen mukaan? Tutkimus, joka perehtyisi Leibnizin perusteisiin, menee tämän tutkimuksen aiheen ulkopuolelle ja myös Jorgensen sivuuttaa asian. Esitän kuitenkin asialle lyhyen todistuksen, jonka ainakin Newton tunsi. Kuten olemme todistaneet tutkielman liitteessä 3, kappaleiden alku- ja loppunopeuksien välillä vallitsee seuraava relaatio:

$$v_1 = \frac{u_1(m_1 - m_2) + 2m_2u_2}{m_1 + m_2}$$

jossa v1 ja v2 ovat kappaleiden loppunopeudet ja u1 ja u2 alkunopeuksia. Onko siis niin, että *v1=u2*? Kuten tarkastelun alussa todettiin, kappaleet ovat samanmassaisia (tai yhtä tilavia ja tiheydeltään samanlaisia, kuten Descartes asian näkee). Tällöin m_1=m_2, jolloin m_1-m_2 on yhtä kuin nolla, ja samoin m_1+m_2=2m_2, jolloin yhtälö muotoutuu muotoon

$$v_1 = \frac{2m_2u_2}{2m_2}$$

ja supistamalla pois 2m_2 osoittajasta ja nimittäjästä, jää yhtälöksi v_1=u_2. Leibniz oli siis nykynäkökulmasta oikeassa, Descartes väärässä. Tietysti Leibnizilla oli puolellaan moniakin asioita kuten kuuluisan fyysikon Christian Huygensin tuki (Jorgensen 2009, 231) ja yleensäkin se, että karteesinen koordinaatisto, jolle tämä kritiikki perustuu, ei ollut nimestään huolimatta vielä Descartesin käyttämä työkalu. Tässä paljastuu se hyöty, mitä tieteellisessä tutkimuksessa on ryhmätyöstä. Teoriat, jotka hyväksytään lopullisiksi ainakin tietyn paradigman sisällä, ovat harvoin yhden ainoan neron aikaansaannosta ja ne ovat useasti sidoksissa kunkin aikakauden matemaattisiin työvälineisiin.

10.12 Descartesin seitsemäs liikelaki

Descartesin seitsemäs ja monimutkaisin liikelaki kuuluu (jaottelu osiin tehty lain pituuden takia, alkuperäinen laki on yhtenäinen) seuraavasti:

> *7 a) Jos B ja C liikkuvat samaan suuntaan, mutta C hitaammin ja sitä seuraava B nopeammin saavuttaen sen siis lopulta, ja C on suurempi kuin B, mutta B:n nopeuden suuremmuus on suurempi kuin C:n koon suuremmuus, niin tällöin B luovuttaa liikkeestään sen verran C:lle, että molemmat liikkuvat sen jälkeen yhtä nopeasti ja samaan suuntaan.*
>
> *7 b) Jos taas päinvastoin B:n nopeuden suuremmuus on pienempi kuin C:n koon suuremmuus, B kimpoaa vastakkaiseen suuntaan säilyttäen kaikki liikkeensä.*
>
> *7 c) Tämä suuremmuus lasketaan seuraavasti: jos C on kaksi kertaa suurempi kuin B ja B ei liiku kahta kertaa C:tä nopeammin, se ei sysää C:tä, vaan kimpoaa vastakkaiseen suuntaan. Jos se taas liikkuu yli kaksi kertaa nopeammin, se sysää C:n liikkeelle. Jos nimittäin C:llä on vain kaksi yksikköä nopeutta ja B:llä viisi, B:ltä otetaan kaksi yksikköä, jotka C:ltä luovutettuna saavat aikaan vain yhden yksikön nopeuden, koska C on kaksi kertaa suurempi kuin B. Tämän mukaisesti nämä kaksi kappaletta, B ja C, liikkuvat sitten kolmen yksikön nopeudella. Myös muissa tapauksissa laskelma tehdään vastaavalla tavalla. Näille ei myöskään tarvita todistusta, koska ne ovat itsessään ilmeisiä. (Descartes 2003, 93)*

Sääntö 7 a) pitää paikkansa Newtonin fysiikan mukaan, jos kysymys on kimmottomasta törmäyksestä (tosin sen rajoitukset ovat turhia). Sääntö 7 b) tuo taas esille mielenkiintoisen käsitteen ”nopeuden suuremmuudesta”. Descartes ajattelee, että liikuttavan kappaleen B nopeuden ja liikutettavan kappaleen C koon suhde määrittelee sen, kimpoaako törmäävä kappale pois vai jatkaako se törmäyksen jälkeen samaan suuntaan toisen kappaleen kanssa. Pienempikin kappale voi siis liikuttaa suurempaa kappaletta, *kunhan suurempi kappale on liikkeessä*. On huomattava, että liikkeen säilymislaki pätee näissäkin tapauksissa. Filosofian kannalta sääntö on kuitenkin muuten melko mielenkiinnoton sen monimutkaisuudesta huolimatta.

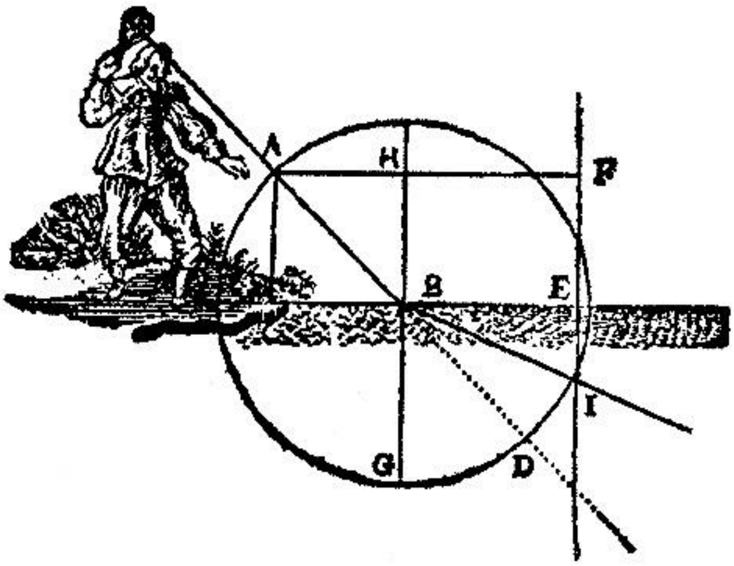
Yleensä ottaen Descartesin virhe oli se, että hän käsitti kimmottoman tai kimmoutuvan törmäyksen johtuvan jotenkin kappaleiden koosta tai nopeuksista, kun taas nykyään ajattelemme itsestään selvästi, että ne johtuvat kappaleiden sisäisistä ominaisuuksista. On turha kuvitella, että nämä nykyfysiikan käsitteet olisivat ongelmattomia tai mittaustarkkuuden rajoissa antaisivat aina täysin oikeita lopputuloksia, mutta ne eivät ole ainakaan niin ilmeisellä tavalla ristiriitainen kuin Descartesin filosofia, jonka ristiriitaisuuden pystyy osoittamaan muutaman rivin laskutoimituksella.

Descartesin fysiikan kohtalokkain virhe oli sen sisäinen ristiriitaisuus jonka tässä luvussa todistimme, ei ristiriita käytännön ilmiöiden kanssa (Clarke 1977, 66). Esimerkiksi Newton lähti siitä lähtökohdasta, että mielivaltaisen pieni kappale liikuttaa törmätessään aina toista kappaletta, oli toinen kuinka suuri tahansa. Ilmiötä nimeltä *kitka* alettiin pohtia vasta, kun liikeyhtälöt oli saatu valmiiksi ilman sitä. Tämä on vähintään yhtä kokemuksenvastainen lähtökohta kuin Descartesin fysiikassa eikä siis anna aihetta olettaa että Newtonin fysiikka olisi lähtökohtaisesti enemmän ”kokemuksen mukainen” kuin Descartesin.

10.13 Descartesin varhaisfilosofian kehittymättömät ideat

Descartesin varhaisfilosofiaan kuuluva ”optiikka” sisältää erään luonnontieteen käsitteistön kannalta erään erittäin hyödyllisen termin, *määräytyneisyys*. Vaikka *Optiikka* kirjoitettiin vuonna 1637 ja *Filosofian periaatteet* vuonna 1644, niin vain *Optiikka* sisältää modernin fysiikan kannalta tämän erittäin hyödyllisen käsitteen. Garber muistuttaa, että määräytyneisyyttä ei tule samaistaa suuntaan (Garber 1992, 189), vaan liikkuvassa kappaleessa on useita määräytyneisyyksiä, esimerkiksi oikealle ja alaspäin (Garber 1992, 191).

Descartes ei selitä kvantitatiivista lakia määräytyneisyyden määrittämiselle, mutta esittää seuraavan esimerkin perusideasta: mies käyttää mailaa lähettääkseen pallon janan AB suuntaisesti kohti pistettä B, josta alkaa veden pinta (Descartes 2001, 181). Descartes korostaa, ettei tässä ole tarkoitus tutkia pallon painavuuden, koon tai muodon vaikutusta. Tämän liikkeen määräytyneisyys johtuu kahdesta muusta määräytyneisyydestä, jotka suuntautuvat oikealle ja alas (Descartes 2001, 179).



Jos liike menettää esimerkiksi puolet nopeudestaan pisteen B jälkeen[41], sen määräytyneisyys oikealle on yhä jäljellä kokonaisuudessaan, ja koska matka kestää janalla BI kaksi kertaa niin kauan kuin matka janalla AB, on piste I ainoa mahdollinen piste, jossa se voi saavuttaa janan FI samaan aikaan kun ilman veden vastusta kulkeva pallo kulkisi tälle janalle janaa BD pitkin. (Descartes 2001, 181) Tämä on kaavakuva, joka hahmottaa erästä kuuluisaa valon taittumislaki, ns. *Snellin lakia*. Pierre de Fermat osoitti vuonna 1662 (ja itse asiassa Descartesin piirustuksestakin tämä huomataan selvästi), että piste I on se piste, johon pallon tulisi suuntautua, mikäli haluaa suoriutua matkasta lyhimmässä mahdollisessa ajassa (Mahoney 1994, 401).

Kaikkein merkittävintä tässä esimerkissä on, että liikkuvaa kappaletta käsitellään vektorisuureena ja sille annetaan pystysuoran ja vaakasuoran vektorin komponentti. Valonsäde, joka edustaa analogiaa miehen syöttämälle pallolle taittuu, koska valonsäde tahtoo taittua rajapinnassa siten, että se "haluaa" edelleen pyrkiä viivalle FI samaan aikaan kuin väliaineessa kulkematon valonsäde[42]. Tämä on yksi variaatiolaskennan teema, joka vaikutti Descartesin ajatuksiin syvästi: luonto haluaa aina minimoida esteiden luomat haitat, ja tämä havainto voi olla Descartesin "pienimpien mahdollisten muutosten periaatteen" (Descartes 2003, 389) taustalla.

On suorastaan sääli, että Descartes ei kehittänyt eteenpäin teoriaansa liikkeen määräytyneisyydestä, sillä Snellin laki on vain yksi sovellus mitä tästä voidaan johtaa: esimerkiksi heittoliikettä ja monia muitakin mekaniikan ilmiöitä voitaisiin tutkia helposti näillä samoilla

[41] Fysikaalisesti tämä tosin on mahdoton tilanne, koska vauhti hidastuu ajan funktiona.
[42] Tosin Descartes ei selitä sitä, miksi pallon/valonsäteen määräytyneisyys **alaspäin** näyttää muuttuneen voimakkaasti, vaikka oikealle ei yhtään.

periaatteilla. Sen sijaan Descartesin ”viralliseksi” fysiikaksi jäi *Filosofian periaatteiden* hyvin ongelmallisten periaatteiden varaan kasattu fysiikka.

11. Päätäntö

Työn ensimmäinen varsinainen tutkimusosio (luku 5) käsittelee Descartesin kehittämää uutta matematiikan haaraa ja sen yhtenäisyyttä Descartesin näkemyksiin *intuitiosta* ja *deduktiosta*. Descartes päättää luoda uuden järjestelmänsä, koska hän on hyvin tyytymätön muiden matematiikan järjestelmien eli syllogismin, klassisen geometrian ja algebran rajoituksiin. Luomansa uuden matematiikan ansiosta hän pystyy käsittelemään asioiden suhteita intuitiivisesti ja *Järjen käyttöohjeiden* sääntöjen mukaan. Descartesin luomalle järjestelmälle on olemassa myös muita mahdollisia syitä, kuten tieteen edistymisen tuoma vaurauden ja terveyden aikakauden tavoite, muistamisen taloudellisuus tai jopa matematiikan spirituaalinen, sielua parantava vaikutus. Pidän kaikkia näitä selityksiä vakuuttavana ja mahdollisina osasyinä uuden matemaattisen systeemin kehittämiseen.

Descartesin järjestelmä ei kuitenkaan pysy loppuun saakka ilmeisten tosiseikkojen käsittelynä, vaan varsinkin *Geometria*-teoksen loppua kohti asiat monimutkaistuvat niin, että Descartesin toivomaa lopullista läpimurtoa ei nähtävästi tapahtunut ja analyyttinen geometria jää ainoastaan yhdeksi matematiikan haaraksi, jonka tutkimiseen tarvitaan ammattilaista, eikä se täten eroa merkittävästi muista matematiikan haaroista. Tämä ei ollut Descartesin matemaatiikan tavoite, vaan pikemminkin selkeä ja tarkka intuitio, josta voidaan vakuuttua pelkästään puhtaaseen ymmärrykseen nojautuen. On mahdollista, että osittain tästä syystä Descartesin matematiikan tutkimus painottui hänen nuoruusvuosiinsa, ja vanhemmiten hän siirtyi enemmän epistemologisiin ja luonnontieteellisiin kysymyksiin.

Uuden tieteen tärkeimpänä tunnusmerkkinä pidetään yleisesti kvantitatiivisen tutkimusmetodin tarkkaa noudattamista reaalimaailman havaintojen analysoinnissa. Tämä ihanne ei Descartesilla realisoidu, vaan hänen kiistattomista matemaattisista lahjoistaan huolimatta luonnontiede on hyvin paljon Aristoteleen tyylistä kvalitatiivista selittämistä.

Yksi tutkielman päätarkoitus on osoittaa, että tälle löytyy filosofisia taustavaikuttimia, joista tärkein on Descartesin kiinnostus materian ulottuvaisuuden ensisijaisuuteen ja sen seurauksena mm. matematiikan ”platonistisen”, itsenäisen aseman kieltämiseen. Luonnonfilosofiset ongelmat täytyy palauttaa ulottuvaisuuteen, ei ensisijaisesti kvantitatiivisiin muotoihin, jotka toimivat vain – tutkijasta riippuen- *verhona totuuden ja itsemme välissä*, *retorisena viittauksena* tai *esimerkkinä* varmuuden saavuttamisesta. Materian ulottuvaisuuden tarkastelu ensisijaisena substanssin määreenä osoittaa, että Cottinghamin ja Sepperin yritys luoda linkki kvantifioitavuuden ja varmuuden välillä eivät ole kovinkaan vakuuttavia: korkeintaankin kvantifioitavuus on vain hyvä yksittäinen esimerkki, ei välttämätön ehto varmuuden tavoittamiselle.

Vaikka materian ulottuvaisuuden ensisijaisuutta Descartesin luonnonfilosofiassa yksittäisillä Descartesin tutkimusalueilla onkin korostettu monessakin tutkielmassa, sen ehdottomuutta kaikilla fysiikan, mielenfilosofian, anatomian, tähtitieteen, akustiikan, metafysiikan sekä myös matematiikan aloilla ei ole painotettu nähdäkseni vielä missään tarpeeksi kokonaisvaltaisesti, vaikka osittaisia painotuksia on mm. Marleen Rozemondilla, Tom Sorellilla ja Daniel Garberilla. Descartesin maailma oli *läpikotaisin* ensisijaisesti ulottuvainen ja tämä ulottuvaisuus on jokaiseen tieteenhaaran ja jopa Jumalan olemassaolon (erään) todistuksen ytimessä. Descartesin fysiikalla on runsaasti teologis-filosofisia vaikuttimia, joita Descartes piti äärimmäisen tärkeänä osana fysiikkaansa. Se ei ollut kokoelma lakeja, jotka kuvailevat liikkeitä, vaan luonnonfilosofinen järjestelmä, joka selittää fyysisen maailman liikkeet, Jumalan ominaisuudet ja äärettömyyden, mielen rakenteen ja sen suhteen materiaaliseen maailmaan.

Tätä tulosta pidän tutkimukseni ensisijaisena ja tärkeimpänä saavutuksena, joka selittää paljon Descartesin ajatuksista liittyen esimerkiksi valon nopeuden äärellisyyden havaitsemisen kysymykseen, aurinkokunnan rakenteeseen, magnetismiin, Jumalan rooliin maailmankaikkeuden varjelijana, teoriaan lämmöstä, Galilein teorioiden moittimiseen ja jopa välirikkoon Regiuksen kanssa.

Descartesin fysiikan etuna on sen ensisijainen kappaleiden ekstension merkityksen korostaminen metafyysisenä vaatimuksena, jonka avulla päästään hyvin pitkälle mekanististen ongelmien ratkomisessa, unohtaen aristoteliset metafyysiset kvaliteetit ja muut modernin tieteen näkökannalta hedelmättömät näkökannat. Toisaalta Descartesin ekstension vaatimuksella on sekä metafyysiset haittansa, kuten tyhjiön olemassaolon kieltäminen sekä monet fysiikan ilmiöt, joille nykytulkinnan mukaan ei löydy materiaalista perustetta, esimerkiksi sähkömagneettiset aallot, magnetismi ja gravitaatio.

Kaikkein ongelmallisin asia Descartesin fysiikassa on kuitenkin sen sisäinen ristiriitaisuus, joka voidaan osoittaa suhteellisen yksinkertaisilla formuloinneilla sekä ajatuskokeilla. Se on myös intuitiivisesti epäuskottavaa, mikä voidaan osoittaa mm. sillä että mielivaltaisen pienet lisäykset tai vähennykset törmäävien kappaleiden tilavuuksissa saavat aikaan dramaattisia eroja törmäysten lopputuloksissa. Asiantuntevia arviointeja tästä ristiriitaisuudesta ovat esittäneet Jorgensen, Clarke ja Blackwell, joiden tutkimuksista olen löytänyt vain hyvin vähän asiavirheitä liittyen merkityksettömiin sivuseikkoihin. Asiasta ei voi olla eri mieltä: Descartesin fysiikka on loogisesti ristiriitainen järjestelmä.

Nimenomaan tämä ristiriitaisuus, ei Descartesin fysiikan yhteensopimattomuus kokemuksen kanssa, johti Descartesin fysiikan hylkäämiseen, koska myös Newtonin fysiikka on tiukasti ottaen yhtä lailla kokemuksenvastaista.

Mielenkiintoisin määritelmä Descartesin fysiikassa on sen suhteellisen liikkeen käsite, jota väitetään usein edistyksellisemmäksi kuin Newtonin fysiikan käsityksiä. Tämä on virhekäsitys, sillä myös Newtonin fysiikka on relativistista Descartesin tarkoittamalla tavalla. Sen sijaan Descartesin ja Einsteinin käsite *avaruudesta* tai *tilasta* on jollakin lailla yhtenevä, ja Einstein oli erityisen mieltynyt Descartesin käsitykseen, että tilaa ei ole olemassa erillisenä oliona. Niistä tutkimistani kirjoittajista, jotka tästä relativismista ovat kirjoittaneet, ainoastaan Daniel Garber on ymmärtänyt tämän tosiasian oikein. Monet vakuuttavatkin tutkijat tuntuvat herkästi samaistavan ”suhteellisen liikkeen periaatteen” sekä ”suhteellisuusteorian”, mikä ei ole oikea lähestymistapa, kuten tutkielmassani esitän matemaattisella todistuksella.

Toisaalta Edward Slowik, joka tuntuu olevan hyvin perehtynyt suhteellisuusteoriaan, sotkeutuu toisaalta liialliseen intoonsa vertaillessaan näitä kahta, täysin eri paradigmoihin kuuluvaa teoriaa toisiinsa: ei ole oikein sanoa, että Descartesin metafyysiset taustaoletukset pohjautuisivat samoihin oivalluksiin kuin Einsteinin Lorentzin muunnoksien ja Minkovskin avaruuksien pohjalta kehittämään ja sittemmin kokeellisesti todistettuun aika-avaruuden taipumisilmiöön perustuva suhteellisuusteoria: kyseessä on sattuma, vaikkakin mielenkiintoinen sattuma.

Toisaalta Descartesin suhteellisen liikkeen käsitettä on yritetty selittää myös enemmän metafyysisellä tasolla, esimerkiksi Sowaalin tai Gaukrogerin tutkimuksissa. Pidän näitä tutkimuksia jokseenkin mahdollisina selityksinä Descartesin ideoille, mutta Descartesin matemaattiset saavutukset huomioon ottaen olen vakuuttunut siitä, ettei näiden asioiden kvantitatiivista problematiikkaa pidä unohtaa; Descartes oli matemaatikko ja ajatteli kuten matemaatikko. Samaan tapaan kritisoin myös Gorhamin paraabelitutkimuksia: ”yksinkertainen” ja ”monimutkainen” eivät ole niinkään intuitiivisia käsityksiä metafyysisistä ideoista, vaan matemaattisen järjestyksen meille luomia asteikkoja, kuten Descartes meille selkeästi ilmoittaa *Järjen käyttöohjeissa* ja *Metodin esityksessä*. Suhteellisen liikkeen käsite on kuitenkin ristiriidassa Descartesin törmäyslakien kanssa, ja ainoat mahdolliset selitysmallit tälle ristiriitaisuudelle ovat melko monimutkaisia käsiteanalyysejä.

Syitä tähän ristiriitaan on yritetty keksiä mm. Descartesin kirkonkirouksen pelosta tai muuten vain tahdosta sovittaa Descartesin opit yhteen katolisen Raamatuntulkinnan kanssa, mutta toinen vaihtoehto on myös se, että Descartes ei yksinkertaisesti huomannut ristiriitaa: *Filosofian periaatteet*-teos tuntuu olevan moneltakin osin kiireesti kokoon kasattu kirjoitelma, jossa jokaista väitettä ei ole ehkä ehditty perin pohjin harkita. Osa ideoista on mahdollisesti lainattu mm. Beechmanilta. Tämä keskeneräisyys näkyy mm. hyvin sekaisessa, listamaisessa muodossa kasatussa magnetismiopissa (Descartes 2003, 255-257).

Kaikista Descartesin fysiikan vaikeuksista huolimatta se edisti modernin fysiikan edistystä ylivoimaisella käsitteistöllään esimerkiksi skolastiseen luonnontieteeseen nähden. Merkittävimpiin Descartesin esittämiin ideoihin kuului mm. liikkeen jatkuvuuden laki, joka tunnetaan nykyisin Newtonin ensimmäisenä lakina, Zenonin paradoksin ratkaisu, nykytieteen kanssa yhtenevä analyysi äärettömyydestä, pienimmän mahdollisen muutoksen periaate, joka tunnetaan nykyään *variaatiolaskenta*-nimisenä matemaattisen fysiikan haarana sekä aurinkokeskeinen maailmankuva. Lisäksi Descartesin *Optiikka*-teos ja vähemmän tunnettu kirjeenvaihto paljastaa muita mielenkiintoisia ja hedelmällisiä luonnonfilosofisia ajatuksia, joista osa on sopusoinnussa nykyfysiikan kanssa, näistä mainittakoon esimerkiksi idea voimasta ainoastaan kappaleiden nopeuksien muutoksissa vaikuttavana ominaisuutena, joka on lähellä, joskaan ei täysin yhteneväinen, nykytieteen käsityksen kanssa. On harmillista, ettei Descartes kehittänyt näitä hyvinkin lupaavia ajatuksiaan pidemmälle.

On kuitenkin vahvoja perusteita uskoa, että Descartesin käsitykset heijastavat vahvasti mm. Galileon, Fermat'n ja Beechmanin näkemyksiä, eivätkä ne ole ainakaan kokonaan itsenäisiä tutkimustuloksia. Täten Descartes ei esiinny meille ”uuden tieteen” luojana, vaan pikemminkin uuden ajattelusuuntauksen yhtenä edustajana.

Lähteet

Aliseda, Atocha: Abductive reasoning: logical investigations into discovery and explanation. Springer, 2006.

Appel, K & Haken, The Solution of the Four-color-Map Problem. Scientific American, Vol. 237, 1976, s. 47-62

Ariew, Roger: Perspectives on Science, Volume 12, Number 2, Summer 2004, 131-134.

Armitage, Angus: Notes and Records of the Royal Society of London, Vol.8, No. 1 (Oct. 1950), s. 1-19

Arthur, Richard: Beeckman, Descartes and the Force of Motion. Journal of History of Philosophy, Volyme 45, Number 1, January 2007, s. 1-28

Bermúdez, José Luis: Scepticism and Science in Descartes. Philosophy and Phenomenological research, Vol. 57, No. 4, December 1997, s. 743-772

Blackwell, Richard J: Descartes' laws of motion. Isis, Vol. 57, No. 2 (Summer, 1966), s. 220-234

Born, Max: Einstein's Theory of Relativity. Forgotten books 2010

Bunn, James H: Availing the Physics of Least Action. New Literature History, Vol. 26, No. 2 (Spring 1995), s. 419-442

Burke, Tyler: Origins of Perception. Disputatio, Vol. IV, No. 29, November 2010. s. 2-38

Calaprice, Alice;Lipscombe, Trevor: Albert Einstein: a biography. Greenwood Publishing Group, 2005

Casti, John; DePauli Werner: Gödel: A Life of Logic, The Mind, And Mathematics. Cambridge University Press 2001

Clarke, Desmond M: Descartes: a biography. Cambridge university press 2006

Clarke, Desmond M: The Impact rules of Descartes' Physics. Isis, Vol. 68, No. 1 (Mar 1977), s. 55-66

Clatterbach, Kenneth C: Descartes's Causal Likeness Principle. The Philosophical Review, Vol. 89, No 3 (July 1980), s. 379-402

Cottingham, John: Descartes. Blackwell publishing 1986

Cottingham, John: Descartes. Otavan kirjapaino, Keuruu, 1997 (suomenkielinen tiivistelmä alkuperäisestä kirjasta)

Crowell, Lawrence: Quantum fluctuations of spacetime. World Scientific 2005

Davis, Philip & Hersh, Reuben: Descartes dream- The world according to mathematics, Penguin books 1988

Descartes, Rene: The Geometry of Rene Descartes, Open Court Publishing Co, 1954

Descartes, Rene: Teoksia ja kirjeitä, WSOY, 1994

Descartes, Rene, Teokset I, Gaudeamus 2001

Descartes, Rene, Teokset II, Gaudeamus 2002

Descartes, Rene, Teokset III, Gaudeamus 2003

Descartes, Rene, Teokset IV, Gaudeamus 2005

Domski, Mary: The Intelligibility of motion and construction: Descartes' early mathematics and metaphysics 1916-1937. Philosophy of Science, Vol.70, No. 5, December 2003, s. 1114-1124

Duhem, Pierre: Medieval Cosmology: Theories of Infinity, Place, Time, Void and the Plurality of the Worlds. The University of Chicaco Press, 1985.

Dutton, Blake D: indifference, Necessity, and Descartes's Derivation of the Laws of Motion. Journal of the History of Philosophy, Volume 34, Number 2, April 1996, s. 193-212

Dutton, Blake D: Physics and metaphysics in Descartes and Galileo. Journal of the History of Philosophy, Volyme 37, Number 1, January 1999, s. 49-71

Galilei, Galileo: Dialogues Concerning two new sciences, Cosimo Books 2010.

Garber, Daniel: A different Descartes. Teoksessa Gaukroger & Schuster, Sutton: Descartes' Natural Philosophy. Routledge 2000

Garber, Daniel: Descartes' metaphysical physics. The University of Chicago press 1992.

Gaukroger, Stephen: Descartes' System of Natural Philosophy. Cambridge University Press, 2002

Gates, Peter: Issues in mathematics teaching. Routledge, 2001

Gombay, André: Descartes. Blackwell Publishing 2007.

Gorham, Geoffrey: The Metaphysical Roots of Cartesian Physics: The Law of Rectilinear Motion. Perspectives on Science, Volume 13, Number 4, Winter 2005, s. 431-451.

Grinstead, Charles; Snell, Laurie : Introduction to probability, Second Revised Edition. John Hopkins University Press, 1998.

Grosholz, Emily: A Case stydy in the Application of Mathematics to Physics: Descartes' Principles of philosophy, Part II, Philosophy of Science Association, Volyme I, s. 116-124, 1986

Grozholz, Emily: Geometry, Time and Force in the Diagrams of Descartes, Galileo, Torricelli and Newton. PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Vol. 1988, Vol. Two: Symposia and Invited Papers (1988), s. 237.248

Hatfield, Gary: Force (God) in Descartes' physics. Studies of history and philosophy of science, Vol. 10 (1979), No. 2, s. 113-140

Jansson, Erik: Acoustics for violin and guitar makers, Part VIII. Kungl. tekniska högskolan, Dept. of Speech, Music and hearing. Saatavissa URL-osoitteesta
http://www.speech.kth.se/music/acviguit4/part8.pdf

Jones, Matthew L: Descartes's Geometry as Spiritual Exercise. Critical Inquiry, Vol. 28, No 1 (Autumn 2001), s. 40-71

Jorgensen, Larry M: The Principle of Continuity and Leibniz's Theory of Consciousness. Journal of the history of philosophy 47:2, April 2009. S. 223-248.

Juutinen, Petri: Variaatiolaskenta, 2005 (luentomoniste). Saatavilla URL-osoitteesta
http://users.jyu.fi/~peanju/vlluennot.pdf. (Viitattu 22.8.2011)

Laird, Walter Roy & Roux, Sophie: Mechanics and natural philosophy before the scientific revolution. Springer 2008

Ljatker, Jakov: Descartes. Moskova kustannusliike progress, 1984

Lehtinen, Torsti: Mahdolliset maailmat- aforismeja. Kirjastudio 2005.

Lenoir, Timothy: Descartes and the geometrization of thought: the methodological background of Descartes' geométrie. Historia Mathematica 6 (1979), s. 355-379

Mahoney, Sean Michael: The Mathematical Career of Pierre de Fermat, 1601-1665, Princeton University Press 1994

Manchak, John Byron: On Force in Cartesian Physics. Philosophy of Science, Vol. 76, No. 3 (July 2009), s. 295-306

McGrath, Alister: Reformation thought. Wiley-Blackwell 1999

McLaughlin, Peter: Descartes on Mind-Body Interaction and the Conservation of Motion. The Philosophical Review, Vol. 102, N0. 2 (Apr. 1993), s. 155-182)

Miettinen, Seppo: Logiikan peruskurssi. Gaudeamus 2005

Moorman, R.H: The influence of mathematics on the philosophy of Descartes. National Mathematics Magazine, Vol. 17 (Apr. 1943), s. 296-307

Nadler, Steven: Deduction, Confirmation, and the Laws of Nature in Descartes's philosophie. Journal of History of Philosophy, Volume 28, Number 3, July 1990, s. 359-383

Osler, Margaret: Descartes, natural philosopher. Studies of History and Philosophy of Science, Vol. 23, No. 3, s. 509-518

Pihström, Sami: Elämän ongelma. Filosofian eettinen ydin. Tallinnan kirjapaino-osakeyhtiö 2010

Proglie, Louis De: Nobel Lecture, December 12, 1929. Saatavilla URL-osoitteesta http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1929/broglie-lecture.pdf (viitattu 22.8.2011)

Putnam, Hilary: Reason, truth and history. Cambridge University press, 1981.

Raftopoulos, Athanassios: Cartesian analysis and synthesis. Studies in history and philosophy of science 34 (2003), 265-308

Rodgers, Nigel & Thompson, Mel: Huonosti käyttäytyvät filosofit. Gummerus, 2009

Rozemond, Marleen: Descartes's Dualism. Harvard University Press 1998

Rydenfelt, Henrik & Kovalainen, Heikki (toim): Mitä on Filosofia? Gaudeamus 2010

Sepper, Dennis L: Descartes's imagination: proportion, images and the activity of thinking. University of California Press, 1996.

Slowik, Edward: Cartesianism and the Kinematics of Mechanism: Or, How to Find Fixed Reference Frames in a Cartesian Space-Time. Noûs, Vol. 32, No. 3 (Sep.1998), s. 364-385. Blackwell Publishing 1998

Slowik, Edward: On the Cartesian Ontology of General Relativity: Or, Conventionalism in the History of the Substantival-Relational Debate. Philosophy of Science, 72 (December 2005), s. 1312-1323

Sorell, Tom: Descartes. Oxford University Press 1996

Sowaal, Alice: Cartesian Bodies. Canadian Journal of Philosophy, Volume 34, Number 2, June 2004, s. 217-240

Spinoza, Benedictus de, Etiikka. Gaudeamus 1994.

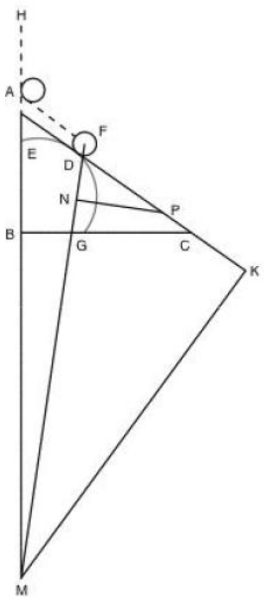
Suppes, Patrick: Descartes and the Problem of Action at a Distance. Journal of History of Ideas, Vol. 15, No. 1 (Jan. 1954), s. 146-152

Valtaoja, Esko: Ihmeitä. Kävelyretkiä kaikkeuteen. Otavan kirjapaino, Keuruu 2007

Warren, Dauben Joseph: Georg Cantor: his mathematics and philosophy of the infinite. Princeton University Press, 1990

Liite 1: Descartesin analyysi vinoa pintaa etenevän kappaleen voimasta

Descartes kirjoitti Mersennelle vuonna 1638 seuraavan analyysin koskien mahdollisuutta, että kappaleeseen kohdistuvan yhteisvoimavaikutuksen suuruus voi muuttua, kun kappaleen etäisyys maanpintaan muuttuu:



Olettaen, että vinon pinnan jana AB suuntaa suoraan kohti maan keskipistettä M ja vinoa pintaa etenevän kappaleen liukuvoima on kappaleen ”absoluuttinen raskaus” kerrottuna janojen AC ja AB osamäärällä. Tämä kosinifunktion määritelmästä suoraan johdettu tulos on nykyäänkin hyväksytty alkeiskinematiikan periaate. Mutta Descartes huomautti, että mikäli kappale pyrkii maan keskipistettä kohti, niin kuljettuaan vähän aikaa paikasta H paikkaan F, jana FG muuttuu vinoksi verrattuna suoraan alaspäin osoittavaan janaan AM, eli myös pidemmäksi verrattuna hypotenuusaan. Täten kulman ACB sinin arvo pienenee kulman FPN sinin arvoksi, joten myös liukuvoima pienenee. (Garber 2000, s. 119-120)

Kirjeeseen liittyy paljon muutakin analyysia liittyen matemaattisiin metodeihin, mutta jo tämä riittää todistamaan, että Descartes ei aina epäröinyt soveltaa matematiikkaa luontoon sellaisenaan.

Asian voi konkreettisemmin selittää siten, että paikassa F painovoima painaa kappaletta ”vinommin” alustaa vasten, mikä myös heikentää liukumisvoimaa. Nykytieteen valossa Descartes on aivan oikeassa, olettaen, että hänen ennakko-oletuksensa pitävät paikkansa. Koska mm.

painovoimakenttä ei ole korkeussuunnassa homogeeninen, ei hänen tuloksensa ole kuitenkaan suoraan sovellettavissa tähän tarkoitukseen.

Liite 2: Descartesin käsitys painosta ja painovoimasta

Vaikka kokemus osoittaa meille erittäin selvästi, että painavaksi sanotut kappaleet laskeutuvat maan keskipistettä kohti, itse painon tai painovoiman periaate ei selviä meille ilmeisenä (Descartes 2003, 28). Siispä Descartesille on elintärkeää redusoida painon käsite ilmiöön, joka tunnetaan ilmeisen selkeästi ja tarkasti: kappaleiden liikkeeseen.

Descartes selittää alun perin painon fysikaalisena voimavaikutuksena ja osana hänen kosmologiaansa:

> *Painovoima ei eroa paljon tästä taivaan aineen pallosten kolmannesta toiminnasta. Sillä niin kauan kuin palloset pelkästään liikkeellään, jolle ne kulkevat erotuksetta kaikkialle, painavat kunkin pisaran kaikkia osia yhtäläisesti kohti pisaran keskusta ja näin tekevät pisarasta pyöreän, samoin ne samalla liikkeellä työntävät kaikkia maan osia sen keskustaa kohti, kun koko maamassa on astunut niiden eteen ja estänyt niitä kulkemasta. Tähän perustuukin maisten kappaleiden paino. (Descartes 2003, 198)*

Sitä, minkälaisia nämä palloset oikeastaan ovat ja miten samankokoisten kappaleiden erilaiset painot selitetään, ei tarvitse tarkemmin käsitellä tässä aihealueessa. Descartesin kosmologia, kuten kaikki kosmologia muutenkin ennen Newtonin painovoimalakeja oli kenties nerokasta ja hyvin pohdittua, mutta kaikkien empiiristen todisteiden ja matemaattisten mallien puutteessa väistämättömän harhaanjohtavaa. Descartesille kuitenkin kuuluu kunnia suhteellisuudentajusta, ja hän myöntää, että näiden tähtitieteellisten hypoteesien joukossa voi olla joitakin vääriä hypoteeseja, vaikka se ei kumoa loppupäätelmien oikeellisuutta (tätä mielenkiintoista väitettä analysoidaan luvussa 5.5). Todettakoon vain, että Descartesille paino on eräänlainen puristusvaikutus tyhjiöttömässä universumissa. Toisaalta Descartesin kirje prinsessa Elisabethille Egmondissa 21.5.1643 paljastaa ainakin näennäisesti toisenlaisen näkökulman:

> *Otaksumme esimerkiksi painon olevan todellinen ominaisuus, josta tiedämme vain sen, että sillä on kyky liikuttaa kappalettaan kohti maan keskipistettä. Emme suinkaan ajattele, että tämä tapahtuisi kahden pinnan todellisella välityksellä(…), ja uskon, että käytämme väärin tätä käsitettä soveltamalla sitä painoon, joka ei ole*

> *mitään kappaleesta todella erillistä, kuten toivon voivani esittää Fysiikassani. Sen sijaan uskon, että se on annettu meille, jotta voisimme käsittää tavan, jolla sielu liikuttaa ruumista. (Descartes 2005, 152-153)*

Descartesin varhaisfilosofian mekanistinen voimavaikutus tuntuu olevan jotenkin ristiriidassa tämän toisen kirjoituksen kanssa, jossa myönnetään, että painovoima on kappaleen sisäinen ominaisuus eikä sen aiheuttamat ilmiöt tapahdu pintojen välityksellä. Ehkäpä Descartes yritti vielä viimeisinä elinvuosinaan muuttaa fysikaalista kokonaisteoriaansa ja pohtia sitä, minkä Newton saattoi päätökseen.

Painovoima on kiusallinen ja ristiriitaiselta tuntuva käsite Descartesin fysiikassa. Esimerkiksi Daniel Garber, joka on kirjoittanut ehkä kattavimman Descartesin fysiikkaa käsittelevän teoksen, *Descartes' Metaphysical Physics*, ei mainitse gravitaatio-käsitettä juuri ollenkaan kirjassaan.

Ehkäpä kuitenkin eräs katkelma *vastauksista kuudensiin vastaväitteisiin* selittää, mitä Descartes yrittää selittää:

> *Jos tuo kappale ripustettaisiin köyteen mistä tahansa osasta, se vetäisi köyttä koko painollaan aivan kuin jos koko paino olisi vain köyttä koskettavassa osassa eikä muualla. Juuri siten minä ymmärrän mielen täyttävän ruumiin ja olevan koko ruumiissa ja kokonaan sen jokaisessa osassa. (Descartes 2002, 313)*

Vaikka Descartes ei kattavasti pystynytkään esittämään, miten *mieli on liittyneenä ruumiin kaikkiin osiin yhteisesti, mutta kumminkin eräässä aivojen rauhasessa erityisesti*, kuten hän esimerkiksi teoksessaan *Sikiön kehityksestä* kertoo (Descartes 2005, 40-41), sillä on analogia painovoimaan, joka myös vaikuttaa koko kappaleeseen *kokonaisuudessaan*, mutta Descartesin esimerkissä köyttä koskettavassa osassa *erityisesti*. Sama idea toistuu kirjeessä Arnauld'lle jopa niin myöhään kuin heinäkuussa 1648 (Descartes 2005, 326). Descartes ei nähtävästi koskaan ehtinyt pohtia tätä yhteyttä tarkemmin.

Painovoima on edelleen mysteeri. Tiedämme sen ominaisuudet ja vaikutukset ja yhtälöt, mutta mikä painon loppujen lopuksi muodostaa, on edelleen arvoitus. Ne valtavat resurssit, jota uhrataan Higgsin hiukkasen tai gravitonin löytämiseen, joka mahdollisesti selittäisi painovoiman osoittaa sen, että painon ja painovoiman ongelma on edelleen kiusallinen ja ratkaisematon kysymys nykyajankin fyysikoille.

Descartes ei pysty luomaan painovoimaa ja muita kappaleeseen kohdistuvia voimia yhdistävää teoriaa kappaleen paraabeliliikkeestä, vaikka kaikki matemaattiset työkalut hänellä onkin tätä tarkoitusta varten (esim. Descartes 1954, 231). Tämän näkee selvästi myös säännöstä XXXVII, jossa Descartes miettii heittoliikkeen ominaisuuksia: sen sijaan, että hän olisi kiinnostunut kappaleen lentoradasta, hän kiinnittää huomiota ainoastaan sen hidastuvuuteen virtaavassa aineessa, kuten ilmassa ja vedessä (Descartes 2003, 87-88).

Dutton kiinnittää taas huomionsa Descartesin Galileo-kritiikkiin, esimerkiksi siihen, että hän ei määrittele, mitä *paino* on. Descartesille paino ilmenee ainoastaan mekaanisesti kappaleiden välisissä vuorovaikutuksessa. Descartesin mukaan tyhjiössä (jota Descartesille ei ole reaalisesti olemassa, muutoin kuin ajatuskokeena Galilein käsityksiä vastaan) kappaleella ei siis olisi ollenkaan painoa. (Dutton 1999, 58-59) Tämä on ymmärrettävää, sillä kappaleen geometria, *ekstensio* on Descartesille ensisijainen ominaisuus, jolla kaikki liikkeet täytyy pystyä selittämään. Jotenkin *paino* kappaleen sisäisenä ominaisuutena sotisi Descartesin käsitystä vastaan.

Nykyfysiikka on täysin Descartesin käsitystä vastaan, ja onkin selvää, että hänen käsityksensä painosta on pahimpia Descartesin fysiikan kompastuskiviä. Galileo oli oikeassa, paino on kappaleen sisäinen ominaisuus, olettaen, että kappaleen vaikutuspiirissä on toinen kappale, jonka painovoimakentässä ollaan. Mistä painovoima perimmältään johtuu, siitä fysiikassa ei ole vieläkään yksimielisyyttä tai todisteita, mutta siitä ollaan yhtä mieltä, että se on massan ominaisuus: mitä enemmän massaa, sitä enemmän painoa kappaleella on toisen kappaleen painovoimakentässä.

Mikä kaikkein traagisinta Descartesin kannalta, tyhjiö on ainoa tila jossa kappaleella on ”täysi” paino. Missä tahansa väliaineessa vaikuttaa ylöspäin *noste*, joka vähentää kappaleen kokonaispainoa: esimerkiksi vedessä kivi painaa vähemmän kuin ilmassa.

Descartes pyrkii ymmärtämään mielen ja ruumiin yhteistyötä vertaamalla sitä kappaleen painoon ja liikkeeseen. Kappaleen paino ja muu kappaleen liikkeen aiheuttava voimavaikutus ovat niin eroavia, että Descartesille ei tullut mieleenkään yhdistää niitä.

Liite 3: Kahden kappaleen kimmoisan törmäyksen liikeyhtälöt Newtonin mukaan

Kahden täysin elastisen kappaleen liikkeen suunnan ja nopeuden pystyy laskemaan, jos massat/tilavuudet sekä alkuperäiset nopeudet tiedetään. Liike-energian säilymislain mukaan

$$\frac{1}{2}m_1u^2{}_1 + \frac{1}{2}m_2u^2{}_2 = \frac{1}{2}m_1v^2{}_1 + \frac{1}{2}m_2v^2{}_2$$

ja liikemäärän säilymislain mukaan

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$$

missä u_1 ja u_2 ovat kappaleiden alkunopeuksia ja m_1 ja m_2 kappaleiden 1 ja 2 massat sekä v_1 ja v_2 kappaleiden loppunopeudet. Miinusmerkkinen nopeus tarkoittaa nopeutta oikealta vasemmalle, positiivinen nopeus taas nopeutta vasemmalta oikealle. Näistä yhtälöistä voidaan ratkaista arvot v_1 ja v_2 toisistaan riippumattomana seuraavasti:

$$v_1 = \frac{u_1(m_1 - m_2) + 2m_2u_2}{m_1 + m_2}$$

ja

$$v_2 = \frac{u_2(m_2 - m_1) + 2m_1u_1}{m_1 + m_2}$$

Liite 4: Miksi kimmoisten kappaleiden liike törmäyksen jälkeen on relativistista Descartesin tarkoittamalla tavalla Newtonilaisen fysiikan mukaan?

Jos mekaniikan törmäyslait ovat relativistisia, emme saa havaita eroa kappaleiden etäisyyksissä ajan funktiona riippumatta siitä, olemmeko kappaleiden suhteen liikkeessä vai paikallamme, siis esimerkiksi, katsommeko tapahtumaa toisen kappaleen päällä vai seuraammeko asiaa sivusta. Tämä tarkoittaa sitä, että kappaleiden nopeusero ja samalla etäisyys ajan funktiona ennen törmäystä ja törmäyksen jälkeen täytyy olla sama tarkastelupisteestä riippumatta. Liike-energian säilymislain mukaan:

$$m_1({v_1}^2 - {u_1}^2) = m_2({u_2}^2 - {v_2}^2)$$

Jossa m_1 ja m_2 ovat kappaleiden 1 ja 2 massat ja v_1 sekä v_2 kappaleiden alkunopeudet ja $u_1$ja u_2 kappaleiden vastaavat loppunopeudet. Tämä yhtälö muotoutuu (esimerkiksi Pascalin binomiteorian mukaisesti) seuraavasti:

$$m_1(v_1 - u_1)(v_1 + u_1) = m_2(v_2 - u_2)(v_2 + u_2)$$

Liikemäärän säilymislaki (liite 3) taas voidaan esittää muodossa

$$m_1(v_1 - u_1) = m_2(u_2 - v_2)$$

Jos edellinen yhtälö jaetaan jälkimmäisellä[43], niin kaikki termit, paitsi ensimmäisen yhtälön jälkimmäisten sulkujen sisältö supistuu pois ja

$$v_1 + u_1 = u_2 + v_2$$

ja edelleen

$$v_1 - v_2 = u_2 - u_1$$

Eli törmäyksen jälkeisten nopeuksien ero on yhtä suuri kuin törmäyksiä edeltävä. Näin ollen kappaleiden liikkeet törmäystä ennen ja sen jälkeen on Newtonin fysiikan mukaan relativistista siinä mielessä, missä Descartes sen määrittelee MOT.

Liite 5: Descartesin käsitys lämmöstä

Vaikka teorioita lämmöstä oli Descartesin aikaan useita, silti ne jakautuivat kahteen pääluokkaan: *aristotelisiin teorioihin*, joissa lämpö on jollakin tavalla kappaleen perusominaisuus, ja *mekanistisiin teorioihin*, joissa lämpö on joillakin lailla kappaleisiin, niiden lukumäärään ja liikkeeseen ainakin periaatteessa palattavissa oleva periaate (Rozemond 2002, 79).

esimerkiksi Aristoteleen ensisijaiset kvaliteetit ovat kuumuus, kylmyys, kosteus ja kuivuus ja nämä neljä ominaisuutta yksin määrittävät kvalitatiiviset muutokset esineissä. Esimerkiksi kuuma esine saa toisen esineen kuumaksi, mutta punainen esine ei saa toista esinettä punaiseksi. (Rozemond 2002, 70) Descartesille tällainen selitysmalli ei käynyt.

Descartes selittää tulen (ja samalla lämmön) synnyn siten, että hiukkasilla on tulen *forma* silloin, kun ne yksitellen seuraavat ensimmäisen elementin liikettä, aivan kuten niillä on ilman firma

[43] Tämä on mahdollista tehdä, koska jos A=B ja C=D, niin myös A/C=B/D.

silloin, kun ne jäljittelevät ilman liikettä. Forma on skolastiseen perinteeseen liittyvä termi, jolla viitataan aineen havaittaviin ominaisuuksiin ja Descartesilla erityisesti kappaleiden liikkeen ominaisuuksiin (Descartes 2003, 433). Oleellisinta on Descartesin huomautus:

> *Ensimmäinen ja tärkein ero ilman ja tulen välillä on se, että jälkimmäisen hiukkaset liikehtivät paljon nopeammin kuin edellisen (Descartes 2003, 226).*

ja

> *Ne (paksummat hiukkaset) luopuvat itsestään ilman formasta, ellei lämpö niitä jatkuvasti liikuta (Descartes 2003, 226).*

Samalla lailla Descartes liittää lämmön ja liikkeen toisiinsa säännössä XXIX (Descartes 2003, 203).

Lämpö siis on Descartesin mukaan kappaleiden sisältämien hiukkasten jatkuvaa liikkumista. Lämpö ei siis ole kappaleen modus tai perusominaisuus, vaan seurausta kappaleiden ulottuvuudesta ja liikkeestä, vaikka Descartes ei selvästikään tarkalleen tiedä miten tämä tarkalleen ottaen tapahtuu. Ajan matemaattisten työkalujen ja havaintolaitteiden puutteellisuudesta johtuen tämä olisikin ollut mahdotonta.

Teoria lämmöstä molekyylien ja atomien värähtelynä on nykytieteenkin mukaan ainoa hyväksyttävä teoria lämmöstä, vaikka sen yksityiskohdat täytyy selittää mekaanisella mallilla, jolloin kyse ei ole tarkalleen ottaen ulottuvaisten hiukkasten värähtelystä[44], jolloin päädymme taas astetta kauemmaksi Descartesin teoriasta kappaleen ulottuvuudesta kaikkein ensisijaisimpana ominaisuutena.

[44] Kvanttimekaanisten mallien mukaan yksittäisillä atomeilla ei ole lainkaan geometrista tilaominaisuutta, vaan ne ovat pikemminkin aaltoliikettä esimerkiksi De Broglien aallonpituuden mukaisesti (De Broglie 1929, 249).