

**This is an electronic reprint of the original article.
This reprint *may differ* from the original in pagination and typographic detail.**

Author(s): Joutsu, Jaakko; Slavov, Matias

Title: Newton, Isaac

Year: 2015

Version:

Please cite the original version:

Joutsu, J., & Slavov, M. (2015, 11.9.2015). Newton, Isaac. Logos-ensyklopedia.
<http://filosofia.fi/node/7124>

All material supplied via JYX is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of the repository collections is not permitted, except that material may be duplicated by you for your research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered, whether for sale or otherwise to anyone who is not an authorised user.

Joutsu, J., & Slavov, M. (2015, 11.9.2015). Newton, Isaac. Logos-ensyklopedia. Retrieved from <http://filosofia.fi/node/7124>

NEWTON, ISAAC

(*Jaakko Joutsu & Matias Slavov, julkaistu 11.9.2015*)

Sir Isaac Newton (1642–1727) oli englantilainen luonnonfilosofi, matemaatikko, Royal Societyn puheenjohtaja, Cambridgen Lucas-professori, yliopistonsa edustaja Ison-Britannian parlamentissa ja alkemisti. Hänen tunnetuimpina saavutuksinaan pidetään differentiaalilaskentaa, dynamiikan liikelakien ja yleistä painovoimalakia koskevien teorioiden sekä optiikan kehittämistä. Hänen vaikutusvaltaisimmat teoksensa ovat vuosina 1687 julkaistu *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ("Principia", Luonnonfilosofian matemaattiset perusteet), sekä vuonna 1704 julkaistu *Opticks* (Optiikka). Newtonin dynamiikka liikelakeineen muodostaa edelleen klassisen mekaniikan perustan. Newtonin vaikutus näkyy selkeimmin fysiikan ja matematiikan alalla, mutta haastamalla vallinneet aristoteeliset ja kartesiolaiset käsitykset maailmankaikkeudesta hän jätti myös lähtemättömän vaikutuksen filosofian kehitykseen.

- [Elämä ja tärkeimmät teokset](#)
- [Newtonin kartesiolainen tausta ja siitä irtautuminen](#)
- [Newtonin liikelait](#)
- [Newtonin painovoimalain luonnonfilosofinen tausta ja merkitys](#)
- [Optiikka](#)
- [Absoluuttinen aika ja avaruus](#)
- [Newton ja alkemia](#)
- [Newtonin vastaanotto filosofien keskuudessa](#)
- [Newton: tieteilijä vai filosofi?](#)
- [Newton tänään](#)
- [Newtonin vaikutus Suomessa](#)
- [Suositeltavaa jatkolukemista](#)
- [Kirjallisuus](#)
- [Internet-lähteet](#)
- [Muut lähteet](#)

Elämä ja tärkeimmät teokset

Newton syntyi juliaanisen kalenterin mukaan joulupäivänä 25.12. vuonna 1642 Woolsthorpen kartanossa, lähellä Colsterworthin kylää Lincolnshiressä, Itä-Englannissa. Hänen isänsä, myöskin Isaac Newton nimeltään, kuoli kolme kuukautta ennen poikansa syntymää. Äiti Hannah Ayscough vastasi Newtonin kasvatuksesta. Toisessa avioliitossaan Hannah synnytti kolme lasta.

Newtonit eivät olleet koulutettuja. Isaac Newton vanhempi oli maanviljelijä eikä osannut kirjoittaa omaa nimeään. On luultavaa, ettei Isaac Newton nuorempi olisi saanut opillista koulutusta, mikäli hänen isänsä ja tämän suku olisivat ottaneet nuoren Isaacin kasvatuksen vastuulleen. Ayscoughin suvussa taas oli jonkin verran korkeasti koulutettuja. Isaacin eno William oli valmistunut Cambridgestä maisteriksi vuonna 1637 ja työskenteli pastorina.

Newtonin isän kuoleman jälkeen hänen äitinsä Hannah avioitui North Withamin kirkkoherran, Barnabas Smithin kanssa, josta tuli Newtonin isäpuoli. Smith kuului vaikutusvaltaiseen kirkolliseen sukuun, ja uusi avioliitto toi Newtonin perheelle vaurautta. Smith oli myös valmistunut Oxfordin yliopistosta. Newtonin suhde äitiinsä ja tämän uuteen aviomieheen oli etäinen. Hän jäi isovanhempiensa kasvatettavaksi kolmen vuoden ikäisenä. Tätä kokemusta on pidetty Newtonille traumaattisena. Yhdeksän vuotta isäpuolensa kuoleman jälkeen vuonna 1653 Newton mainitsee synninpäästössään harkinneensa äitinsä, isäpuolensa ja näiden talon polttamista. Newtonin ahdistavien lapsuudenkokemusten on katsottu vaikuttaneen hänen persoonallisuutensa kehitykseen. Newtonia on kuvailtu hiljaiseksi, sisäänpäin kääntyneeksi henkilöksi, joka kaihtoi julkisia kiistelyjä. Tieteenhistorioitsija Richard Westfall (1993, 10) luonnehtii häntä kärsiväksi ja neuroottiseksi mieheksi, joka oli usein hermoromahduksen partaalla. Vuosina 1692–1693 Newtonin mielenterveys järkkyy pahasti, luultavasti johtuen hänen alkemististen tutkimuksiensa yhteydessä saamastaan elohopeamyrrykyksestä (ks. Keynes 2008). Hänessä on nähty myös Aspergerin oireyhtymään viittaavia piirteitä.

Newton kirjautui Cambridgen yliopiston Trinity Collegeen vuonna 1661. Hänen opintonsa Cambridgessa noudattivat aluksi klassista opintosuunnitelmaa. Hän opiskeli kommentaariteosten kautta aristoteelista retoriikkaa, logiikkaa, etiikkaa ja fysiikkaa. Vuoteen 1664 mennessä hän oli suorittanut klassiset aristoteelisen filosofian opinnot ja siirtyi opiskelemaan René Descartesin (1596–1650) teoksia, kuten *Metafyysisiä mietiskelyjä*, *Metodin esitystä* ja *Filosofian periaatteita*. Näiden opintojen ohella hän harjoitti kokeellista optiikkaa eli valon käyttäytymisen tutkimusta ja esitti matemaattisen teorian tasaiselle ympyräliikkeelle. Newtonin Cambridgen opiskelu- ja tutkimusvuodet olivat hänen elämälleen ja intellektuaaliselle kehitykselleen ratkaisevan tärkeitä. Hän oli muuttanut pienestä maalaiskylästä maailman tasokkaimpaan yliopistoon. Vuosia 1664–1666 on pidetty hänen työnsä ”ihmeiden vuosina” (lat. *anni mirabiles*), sillä juuri noina vuosina Newtonin itseopiskeluun perustuneet matemaattiset ja luonnonfilosofiset tutkimukset alkoivat toden teolla kantaa hedelmää. Hänen läpimurtonsa differentiaalilaskennan, dynamiikan ja optiikan aloilla kulminoituvat näihin vuosiin. Vuoteen 1666 mennessä hän oli itseopiskelunsa kautta kehittänyt differentiaalilaskennan, minkä ansiosta hänestä tuli aikansa merkittävimpiä matemaatikkoja. Vuonna 1669, 27 vuoden ikäisenä, hänet valittiin matematiikassa Cambridgen Lucas-professoriksi, joka on edelleen akateemisen maailman arvostetuimpia virkoja. Professuuristaan väistyvä Isaac Barrow (1630–1677) suositteli Newtonin nimittämistä virkaan.

Newtonin tärkeimmät teokset ovat *Principia* – luonnonfilosofian matemaattiset perusteet sekä *Optiikka*. *Principian* keskeiset tulokset ovat Newtonin kolme liikelakia sekä yleinen painovoimalaki, jotka ovat soveltuvien osin käytössä nykyäänkin. *Principia* ilmestyi ensimmäistä kertaa latinaksi vuonna 1687. Teoksesta otettiin noin kolmesataa painosta, ja sen myötä Newtonista tuli aikansa kuuluisampia luonnonfilosofeja. Kaikki eivät olleet kuitenkaan vakuuttuneita *Principian* keskeisistä argumenteista, etenkin yleistä painovoimalakia koskevasta argumentista. Newton muokkasi teostaan radikaalisti, ja julkaisi toisen ja kolmannen painoksen vuosina 1713 ja 1726. Näihin painoksiin Newton lisäsi loppuun yleisen selittävän osan (”General Scholium”), jossa hänen

kuuluisa "En tee hypoteeseja" (lat. *hypotheses non fingo*) iskulauseensa esiintyy. Newton tarkoitti lausahduksellaan sitä, että luonnonfilosofiassa ei ole tarkoitus esittää ilmiöiden perimmäisiä syitä koskevaa pohdintaa, mikäli tieteellinen periaate on empiirisesti koeteltavissa. Pääosin valon käyttäytymistä käsittelevän Optiikan ensimmäinen painos julkaistiin englanniksi vuonna 1704. Sitä seurasi latinankielinen versio vuonna 1706 ja myöhemmin toinen englanninkielinen painos 1717. Se sisältää myös kuuluisaksi tulleen "Kysymyksiä" ("Queries") osion, jossa Newton muotoilee alustavia ongelmia, joita tuleva luonnontutkimus hänen jälkeensä voisi pyrkiä ratkaisemaan.

1700-luvun alusta lähtien Newton työskenteli Englannin rahapaja Royal Mintin johtajana ja osallistui Englannin parlamentin istuntoihin yliopistonsa edustajana. Hänet valittiin Royal Societyn puheenjohtajaksi vuonna 1703, ja kuningatar Anna aateloi hänet vuonna 1705. 1710-luvulla kiisteltiin siitä, oliko G. W. Leibniz (1646–1716) vai Newton keksinyt differentiaalilaskennan ensin. Vuonna 1719 Newton julkaisi latinankielisen painoksen Optiikasta, minkä seurauksena teoksesta tuli tunnetumpi Manner-Euroopassa. Lisäksi Optiikka käännettiin ranskaksi vuonna 1720, jolloin Newtonin työn vaikuttavuus Ranskassa alkoi hiljalleen lisääntyä.

Newton sairasteli viimeiset viisi elinvuottaan, vaikka työstikin *Principian* kolmatta painosta vielä 80-vuoden iässä. Hän kuoli 84 vuoden ikäisenä 20. marraskuuta vuonna 1727. Hänellä ei ollut lapsia tai puolisoa. Elinaikaan hän oli kerryttänyt huomattavan omaisuuden, 32 000 silloista Englannin puntaa, joka perinnönjaossa jaettiin hänen kahdeksalle siskon- ja veljentyttärelleen. Newtonin veljenpoika Benjamin Smith julkaisi postuumisti Newtonin raamatullista eksegeesiä Vanhan Testamentin profetiasta sekä Ilmestyskirjasta. Syynä postuumiin julkaisuun oli luultavasti Newtonin areiolainen teologia, joka ei hyväksynyt vallitsevaa kristillistä kolminaisuusoppia. Tätä Jeesuksen jumaluuden kiistävää käsitystä pidettiin harhaoppisena sekä katolisessa että protestanttisissa kirkkoissa, ja sen julkituominen olisi luultavasti aiheuttanut Newtonille merkittävää vahinkoa. Lisäksi Newton oli kiinnostunut Salomon temppelin pyhiksi käsitetyistä mittasuhteista ja Raamattuun perustuvasta numerologiasta liittyen etenkin maailmanloppuun, tosin nämäkin pohdinnat jäivät suurelta osin yksityisiksi ja paljastuivat vasta paljon myöhemmin.

Newtonin kartesiolainen tausta ja siitä irtautuminen

Newtonin ajattelun kehitys muotoutui reaktiona useisiin eri luonnontieteellisen ajattelun perinteisiin. Keskiajan aristoteelisesta luonnonfilosofiasta Newton peri käsityksen, jonka mukaan luonto on järjestynyt syy–seuraus-suhteiden mukaisesti. Tämän näkemyksen mukaan syyt ovat ontologisesti ensisijaisia seurauksiin nähden, mutta seuraukset ovat episteemisesti eli tiedon näkökulmasta ensisijaisia syihin nähden. Newtonin tieteellis-filosofinen metodologia perustuukin olennaisesti syiden ja seurausten, voimien ja liikkeen muutoksen (matemaattis-empiiriseen) tutkimiseen (ks. Ducheyne 2012, luku 1). Tärkeinä taustavaikuttajina olivat myös Nikolaus Kopernikuksen (1473–1543) esittämä aurinkokeskeinen aurinkokuntamalli, Johannes Keplerin (1571–1630) esittämät kolme lakia aurinkokunnan kappaleiden liikkeille sekä Galileo Galilein tutkimukset putoamis- ja heittoliikkeistä. Kuitenkaan yksikään näistä tutkijoista ei saavuttanut Newtonia edeltävällä ajalla samaa painoarvoa kuin René Descartes (1596–1650), jonka mukaan nimetystä kartesiolaisuudesta, tuli hallitseva ajattelusuuntaus sekä akateemisissa piireissä että sen ulkopuolella.

Descartesin luoman uuden luonnonfilosofian piti olla vanhentuneen, aristoteeliseen filosofiaan perustuneen mallin korvaaja. Descartes esittää sen keskeiset periaatteet myöhäisessä teoksessaan *Filosofian periaatteet* (1644). Kartesiolaisesta fysiikasta tuli nopeasti oman aikansa hallitseva fysiikan laji jo pelkästään Descartesin tieteellisen auktoriteetin johdosta. Kuitenkin teos osoittautui puutteelliseksi, sillä kunnianhimoisesta tavoitteestaan huolimatta se ei pystynyt selittämään tai ennustamaan mitään paremmin kuin skolastinenkaan fysiikka: kartesiolainen fysiikka oli sanallisesti kuvailevaa, asioiden perimmäistä syytä etsivää fysiikkaa. Newtonin *Principia* pystyi selittämään asioita paljon täsmällisemmin, esimerkiksi miten Keplerin lait pystytään johtamaan yleisestä vetovoimalaista tai miksi taivaankappaleiden kiertorata ylipäättänsä on ellipsin muotoinen. Ongelmistaan huolimatta Descartesin fysiikalla oli pitkään oma vakaa kannattajakuntansa, esimerkiksi kuuluisa fyysikko Daniel Bernoulli (1700–1782).

Descartesin teoksella voidaan katsoa kuitenkin olleen merkitystä mm. aurinkokeskisen järjestelmän leviämisen kannalta, sillä se oli suunniteltu oppikirjaksi, jonka lukemiseen ei vaadita juurikaan esitietoja. Toiseksi kartesiolainen fysiikka herätti ajatuksen siitä, että törmäystä edeltävät ja seuraavat kappaleiden käyttäytymiset voidaan johtaa törmäävien kappaleiden yksinkertaisista ominaisuuksista: vaikka Descartesin näkemys olikin ongelmallinen, se kuitenkin ennakoï Newtonin mekaniikkaa. Kummatkin mallit kiinnittävät huomionsa kahden kappaleen törmäyksissä vain niiden omiin mitattaviin ominaisuuksiin ja keskinäiseen vuorovaikutukseen.

Seuraavassa taulukossa näkyvät Newtonin ja Descartesin fysiikan tärkeimmät yhtäläisyydet:

Descartesin ja Newtonin fysiikan periaatteiden yhtäläisyydet
Kappale jatkaa suoraviivaisesti etenemistä, ellei ulkopuolinen voima vaikuta siihen (ns. Newtonin I laki). Kappaleen, esimerkiksi lattialla pyörivän kuulan liike hidastuu ulkopuolisten voimien vaikutuksesta, ei itsestään, kuten aristoteelinen impetus-teoria selittää.
Aurinkokeskeinen aurinkokunnan malli
Taivaallisiin kohteisiin ja maanpäällisiin kappaleisiin vaikuttavat samat lait (toisin kuin Aristoteles kirjoitti).

Taulukko 1: Descartesin ja Newtonin fysiikan yhtäläisyydet

Myös eroja näiden kahden näkemyksen välillä on runsaasti:

Descartesin ja Newtonin fysiikan periaatteiden erot	
<i>Descartes</i>	<i>Newton</i>
Tyhjiötä ei ole olemassa.	Tyhjiö on olemassa.
Aurinkokunta on materiaaliekko, jonka mukana planeetat liikkuvat. Se on kuin vedessä oleva pyörre, jossa puulastut kelluvat.	Aurinkokunta pysyy koossa auringon ja planeettojen keskinäisen painovoiman ansiosta.
Kappaleiden tilavuus ja nopeus vaikuttavat	Kappaleiden massa ja nopeus (mutta

törmäysliikkeen tuloksiin.	ei tilavuus) vaikuttavat törmäysliikkeen tuloksiin.
Kappaleiden paino on kaikkialla olevien pienten pallomaisten materiaalistien osien aiheuttama paineilmiö.	Kappaleiden paino johtuu siitä, että toinen kappale vetää niitä omalla painovoimallaan puoleensa.
Voima on käsitteenä monitulkintainen, eikä sillä ole keskeistä merkitystä mekaniikassa.	Voima määritetään kvantitatiivisesti, ja kaikki liikkeen suunnan ja nopeuden muutokset perustuvat siihen.
Avaruus on ulottuvaisuutta ja kappaleiden primäärinen ominaisuus.	Absoluuttinen avaruus on olemassa itsessään kappaleista riippumatta.

Taulukko 2: Descartesin ja Newtonin fysiikan erot

Lisäksi Newtonin ja Descartesin matemaattisesta metodologiasta on syytä mainita perustava eroavaisuus: Newton perusteli kaiken perinteisellä euklidisella geometrialla, ja alkuperäinen *Principia* poikkeaa paljon nykyään tunnetusta Newtonin mekaniikan algebrallisesta esitystavasta. Tosin on huomattava, että esimerkiksi tähtitieteellisissä kirjoituksissaan hän turvautuu myös uudenaikaisempiin tekniikoihin, erityisesti logaritmilaskentaan. Descartes sen sijaan oli kiinnostunut aikanaan melko uusista algebrallisista menetelmistä ja suhtautui euklidiseen geometriaan halveksuvasti: hänen mielestään perinteinen geometria oli useimmiten päämäärätöntä ja sattumanvaraista kokeilua vailla metodologiaa. Tiedetään, että Newton oli kiinnostunut varsinkin Descartesin analyttisen geometrian perustan esitelleestä matemaattisesta pääteoksesta *Geometria* (joka nimestään huolimatta painottaa selkeästi algebrallista ratkaisutapaa), mutta päätti tästä huolimatta lähestyä luonnonfilosofian ongelmia klassisen geometrian kautta.

Kuva 1 (wikipedia.org): sivu Newtonin *Principiasta*. Todistukset muistuttavat selvästi enemmän kreikkalaisten geometrikkojen, kuten Eukleideen (n. 300 eaa.) tai Pappoksen (n. 290–350) todistustekniikoita kuin algebrallisia todistuksia.

Erityisesti Descartesin ratkaisu kytkeä liikelakien ominaisuudet kappaleiden kokoon ja nopeuteen tuottaa hankaluuksia, jos kysymyksessä ovat kappaleet, jotka eivät ole tiheydeltään kauttaaltaan samanlaisia. Newtonilla ei ollut samoja hankaluuksia, vaan massa, riippumatta kappaleen koosta ja tiheydestä, on ratkaiseva ominaisuus.

Huolimatta Descartesin matemaattisista taidoista ja siitä, ettei hän ”hyväksy fysiikkaan mitään muuta kuin matematiikasta ja geometriasta johdettuja periaatteita” (Descartes 2003, 100), matematiikan todellinen soveltaminen fysiikkaan jäi hänellä vähäiseksi. Maininnan arvoisina voidaan tässä suhteessa pitää lähinnä Descartesin liikelakeja, joissa Descartes hahmotteli yksinkertaisia relaatioita kappaleiden koon ja nopeuksien välillä ennen törmäystä sekä törmäyksen jälkeen. Vaikka jotkin Descartesin väitteistä olivatkin sopusuhteissa Newtonin teorian kanssa, kaiken kaikkiaan Descartesin lait olivat keskenään ristiriitaisia (Clarke 1977, 62), ja esimerkiksi Leibniz toi esille sen heikkoudet vuonna 1684 ilmestyneessä artikkelissaan (Ks. Leibniz 2011, 80–82).

Newtonin liikelait

Newtonin luonnonfilosofian keskeinen käsite on voima. Hän tulkitsee sen kausaalisesti, eli syy–seuraus-suhteen avulla: "Voima on liikkeen ja levon kausaalinen periaate" (Newton 2004, 36). Hän tarkoittaa tällä seuraavaa. Jos massallinen kappale muuttaa liiketilaansa (esimerkiksi lähtee liikkeelle levosta tai pysähtyy liikkeestä), siihen kohdistuu tällöin voima. Newton luettelee kolme vaikuttavan voiman tyyppiä: törmäys (engl. *percussion*), paine (*pressure*), ja keskihakuvoima (*centripetal force*). Liiketilän muutosta kutsutaan kiihtyvyydeksi. Kappaleeseen saattaa kohdistua useampi voima, jolloin kappale kiihtyy siihen vaikuttavan kokonaisvoiman suuntaisesti. Voima on Newtonin mukaan liiketilän muutoksen todellinen syy, ja voimasta seuraava kiihtyvyys on kappaleen todellinen liike.

Principian keskeiset tulokset ovat kolme liikelakia sekä yleinen painovoimalaki. Ne yhdessä muodostavat klassisen mekaniikan perustan. Liikelakinsa Newton (1999, 416–417) muotoilee itse seuraavasti:

Ensimmäinen laki: Jokainen kappale säilyttää lepotilansa tai suoraviivaisen, eteenpäin tasaisesti suuntautuvan liikkeensä, paitsi jos ulkoiset voimat pakottavat sen muuttamaan tilaansa.

Newtonin ensimmäistä lakia kutsutaan myös jatkavuuden laiksi sekä inertialaiksi. Galileo Galilei (1564–1642) oli jo hyvin lähellä tämän lain löytämistä ajatuskokeisiin perustuvissa tutkimuksissaan, joissa hän käytti esimerkkinä tasolla vieriviä kuulia. Ensimmäisenä tämän lain muotoili täsmällisesti Descartes *Filosofian periaatteissaan*. Tosin toisen tulkinnan mukaan Descartesin luonnonfilosofian mentori Isaac Beeckman (1588–1637) muotoili ajatuksen ensimmäisenä (Arthur 2007, 3–4).

Riippumatta siitä, kuka alun perin muotoili Newtonin ensimmäisen lain, se haastoi aristoteelisen käsityksen liikkeestä, jonka mukaan kappale tarvitsee jonkin vaikuttavan voiman pysyäksään liikkeessä. Niin Descartesin kuin Newtoninkin mukaan liikkuvaan kappaleeseen ei tarvitse kohdistua mitään voimaa, joka pitäisi sen liikkeessä. Ilman vaikuttavia voimia liikkeessä oleva kappale jatkaisi suoraviivaista liiketilaansa ikuisesti. Kun esimerkiksi heitän kiven kohtisuoraan eteenpäin, se lopulta putoaa maahan, ja ehkä muutaman pompun jälkeen pysähtyy. Painovoiman, esteiden ja ilmanvastuksen puuttuessa kivi kuitenkin lentäisi suoraviivaisesti avaruuteen. Vastaavasti paikoillaan oleva kappale ei lähde liikkeelle, ellei siihen kohdistu voimaa.

Toinen laki: Liikkeen muutos on verrannollinen liikkeen aiheuttavaan voimaan. Liikkeen muutos tapahtuu suoraan viivaa pitkin, jonka suuntaisesti voima vaikuttaa kappaleeseen.

Vaikuttava voima ja liikkeen muutos eli kiihtyvyys ovat Newtonin toisen lain mukaan suoraan verrannollisia. Kun työntän sormellani pöydälläni olevaa kirjaa tietyllä voimalla, kirja kiihtyy suoraan työntävän voiman suuntaisesti (todellisuudessa kitkavoima ja ilmanvastus monimutkaistavat tilannetta huomattavasti). Jos työntän kaksinkertaisella voimalla, kiihtyvyys on kaksinkertainen, ja jos työntän kolminkertaisella voimalla, kiihtyvyys on kolminkertainen, ja niin edelleen. Jos kappaleeseen kohdistuu useampia voimia, aiheutunut kiihtyvyys tapahtuu voimien suunnikassäännön mukaisesti (ks. kuva 2 alla). Jos kappaleeseen A kohdistuu kaksi voimaa, yksi C:n ja toinen B:n suuntaan, seuraa AD:n suuntainen voima ja kiihtyvyys:

Kuva 2. Newtonin geometrinen esimerkki voimien suunnikassäännöstä (nykykielellä resultanttivoimasta). Alkuperäinen kuva *Principiasta* (wikisource.org)

Nykyään koulufysiikassa Newtonin toinen laki ilmoitetaan matemaattisella suhteella $F = ma$ jossa F merkitsee vaikuttavaa voimaa (engl. *force*) (lihavointi on vektorin tunnus, eli voimalla on suuruutensa lisäksi aina määrätty suunta), m merkitsee massaa, ja a kiihtyvyyttä (*acceleration*) (jolla myös on aina määrätty suunta). Newton ei kuitenkaan itse käyttänyt tätä ilmaisua; sen otti ensimmäisenä käyttöön (ilman vektorimerkintöjä) matemaatikko Leonhard Euler (1707–1783) vuonna 1752 (Cushing 1998, 98–99). Yllättävänä voidaan myös pitää sitä, ettei Newton ilmaissut lakiaan "fluksionien" (*fluxion*) eli differentiaalien avulla, vaikka hän oli kehittänyt differentiaalisen menetelmän jo vuosia aiemmin, ja myöhemmin differentiaalilaskenta vakiintui newtonilaisten liikeyhtälöiden merkintätavaksi. Itse asiassa Leibnizin samoihin aikoihin kehittämä yksinkertaisempi differentiaalilaskennallinen merkintätapa yleistyikin pian ja on edelleen käytössä. Ensimmäisen differentiaalisen formalisoinnin Newtonin toiselle laille vuorostaan esitti matemaatikko Jacob Hermann (1678–1733) teoksessaan *Phoronomia* vuonna 1716 (ks. Cohen 1999, 113). Tulos $F = ma$ on johdettavissa Hermannin formalisoinnista (joka perustuu Newtonin sanalliseen määritelmään).

Kolmas laki: Jokaiselle vaikutukselle on aina vastakkainen ja yhtä suuri vastavaikutus. Toisin sanoen kahden kappaleen keskinäiset vaikutukset ovat aina yhtä suuria ja suunnaltaan vastakkaisia.

Newtonin kolmas laki on keskeinen hänen voiman käsitteensä ymmärtämiseksi. Voima ei ole itsenäinen, yksittäinen asia. Voima ei myöskään piile kappaleissa kätkeytyneenä, kuten Newton näytti ajattelevan ennen *Principian* laatimista kirjoittamassaan julkaisemattomassa käsikirjoituksessa "De Gravitatione" (ks. Newton, 2004, "Määritelmä 10" ja Slavov 2013, alaviite 32). *Principiassa* Newton esittää, että voima on vuorovaikutussuhde vähintään kahden kappaleen välillä. Jos maailmankaikkeudessa olisi olemassa vain yksi massallinen hiukkanen, voimia (ainakaan Newtonin tarkoittamassa mielessä) ei olisi olemassa.

Newtonin kolmas laki auttaa myös ymmärtämään hänen painovoimalakiaan. *Principiassaan* Newton ei itse muotoile painovoimalakiaan täsmällisesti yhdellä lauseella. Nykytulkinnan mukaan se voidaan esittää seuraavalla matemaattisella suhteella:

$$\mathbf{F}_G \propto m_1 m_2 / r^2$$

jossa \mathbf{F}_G merkitsee painovoimaa, m_1 ja m_2 kahden eri kappaleen massoja ja r niiden välistä etäisyyttä. Matemaattinen operaattori \propto tarkoittaa, että termit ovat jonkin vakiokertoimen suhteen yhtä suuria. Lain mukaan kaikki maailmankaikkeuden massalliset kappaleet tai hiukkaset vetävät toisiaan puoleensa voimalla, joka on suoraan verrannollinen niiden massojen tuloon ja kääntäen verrannollinen niiden etäisyyden neliöön. Tämän lain löytämistä edelsi Johannes Keplerin (1571–1630) tutkimukset planeettojen ellipsiradoista ja Robert Hooken (1635–1703) hypoteesi etäisyyden käänteisestä neliölaista.

Newtonin lait vahvistivat putoavien kappaleiden liikettä koskevan Galilein lain. Kyseisen lain mukaan jos

kappaleet pudotetaan lähellä Maan pintaa samalta korkeudelta ja samalla alkunopeudella, ne putoavat maahan samaan aikaan. Jos ilmanvastus ei vaikuta, "hatara höyhen ja kiinteä kulta putoavat samalla nopeudella", kuten Newton (1999, 939) asian ilmaisee. Putoamiskiiktyvyys ei riipu putoavan kappaleen massasta, vaan planeetan massasta ja sen säteestä.

Newtonin painovoimalain luonnonfilosofinen tausta ja merkitys

Newtonin yleisellä painovoimalailla on keskeinen merkitys luonnonfilosofian historiallisessa kehityksessä. Vaikka Newtonin tieteellis-filosofinen menetelmä on paljon velkaa keskiajan aristoteelisen luonnonfilosofian käsitykselle luonnon kausaalisesta järjestyneisyydestä, hänen fysiikkansa tulokset myös haastoivat monia sen oletuksista.

Aristoteelisessa luonnonfilosofiassa ajateltiin, että maailma jakautuu kahteen toisistaan eriyvään osaan, kuunaliseen ja kuunyliseen maailmaan. Kuu oli täydellisen sileä, ja kuunylisten kappaleiden liikkeet täydellisen ympyrän muotoisia. Aristoteles ajatteli teoksessaan *Taivaasta*, että maanpäällisellä kappaleella voi olla vain kaksi luonnollista liikettä, Maan keskuksesta pois päin ja Maan keskukseen päin, riippuen kappaleen keveydestä tai painavuudesta. Ympyräliikkeessä olevalla kappaleella (joista Kuu on meille läheisin esimerkki) ei ole siis keveyttä eikä painavuutta. Aristoteleen näkemyksen mukaan taivaankappaleiden ympyräliike on erityistä, koska sen etäisyys meihin säilyy koko ajan samana: sillä on selkeästi pysyvämpiä ominaisuuksia kuin maanpäällisillä kappaleilla, jotka esimerkiksi kasvavat, kuihtuvat tai vaihtavat etäisyyttään meihin jatkuvasti. Koska sukupolvien ajan on havaittu, ettei taivaankannella mikään muutu, yhdistää Aristoteles ympyräliikkeen ja ikuisen olemisen toisiinsa. Tästä syystä Kuu ja kaikki muut taivaankappaleet ovat jotain muuta elementtiä kuin maata, tulta, ilmaa tai vettä jotka selvästikin muuttuvat koko ajan. Tätä elementtiä Aristoteles ja hänen edeltäjänsä kutsuvat termillä aither. Lisäksi Aristoteles päättelee muista syistä, että taivaankappaleet ovat täydellisen pallon muotoisia (Aristoteles 2003, 290b, 269b-270b).

Newtonin väite painovoimalain yleispätevyydestä merkitsi kuunalinen–kuunylinen-jaottelun kyseenalaistamista. Galilei oli jo vuonna 1610 todennut tämän klassisen maailmankuvan riittämättömyyden havaitessaan kaukoputkellaan Kuun pintojen rosoisuuden ja auringonpilkut. Analogian kautta Galilei päätteli, että Maa koostuu samasta aineesta kuin Kuu. Lisäksi ongelmia aiheuttivat havainnot komeetoista, joita välillä havaittiin myös kuunalisessa maailmassa: kumpaan kategoriaan ne kuuluvat, mikäli Aristoteleen jaottelu pitää paikkansa? Newton kuitenkin osoitti vielä Galileita perusteellisemmin aristoteelisen luonnonfilosofian puutteet. Lähellä Maan pintaa pudotettu tai heitetty kivi, vuorovedet, Kuun kierto Maan ympäri, planeettojen radat Auringon ympäri, sekä kaukaisten komeettojen kiertoradat Auringon ympäri saivat nyt kaikki liikkeilleen yhtenäisen syyn, painovoiman, sekä yleispätevät liikelait. Maa ei ole erityislaatuinen paikka maailmankaikkeudessa, vaan osa Aurinkokuntaamme. Newton yhdisti aikaisemmin toisistaan erillään pidetyt ilmiöt, "maallisen" ja "taivaallisen", yhtenäiseksi kausaalis-matemaattiseksi kuvaukseksi.

Newtonin painovoimalaki ei irtautunut radikaalisti pelkästään aristoteelisestä luonnonfilosofiasta, vaan myös varhaismodernin aikakauden vallitsevasta mekanistisesta viitekehystä. Niin Galilei, Descartes, Christiaan Huygens (1629–1695) kuin Leibnizkin kannattivat mekanistista luonnonfilosofiaa (tosin Leibniz korosti myös päämääräsyiden tärkeyttä, ks. [Leibniz: Metafysiikka](#)). Sen keskeinen ajatus on, että maailma toimii kuin kone tai

laite. Newtonin painovoimalaki taas ei ottanut mallia koneen tai laitteen toiminnasta. Tästä katsottiin seuraavan useampia kiistanalaisia asioita. Ehkä kaikkein ongelmallisimpana pidettiin sitä, että painovoima vaikuttaa etäältä ilman minkäänlaista kosketusta. Voimme hahmottaa tämän näkemyksen outoutta seuraavalla esimerkillä. Kaksi pienen pientä kiveä sijaitsevat hyvin kaukana toisistaan. Näiden kivien välillä on vain tyhjää tilaa. Koska molemmilla kivillä on määrätty massa, niiden välillä vaikuttaa painovoima. Newtonin liikelakien mukaan tämä vaikutus on – huolimatta kivien suuresta etäisyydestä toisiinsa nähden – välitön. Lisäksi vaikuttava voima on näkymätön.

Newton ei kyennyt selittämään tätä ilmiötä mekaanisesti. Kuitenkin Newtonin fysiikkaa luonnehditaan nykyään, ehkä hieman harhaanjohtavasti, Newtonin mekaniikaksi. Tämä johtuu luultavasti Newtonin fysiikan sovelluksista mekanistisesti mallinnettaviin kohteisiin. Kuitenkin täsmällisempää olisi puhua Newtonin dynamiikasta (kreik. *dynamis*, voima), sillä juuri voima on Newtonin luonnonfilosofian avainkäsite. Voimat voivat Newtonin dynamiikan mukaan vaikuttaa ilman kappaleiden pintojen kosketuksia. Newtonia kritisoinut Leibniz piti tällaista selitystä ”kuvitteellisena” ja ”taianomaisena”. Hän katsoi, että luonnollinen liike voi tapahtua vain silloin, kun kappale jollain tavoin koskettaa toista kappaletta, esimerkiksi vetää tai työntää sitä (ks. etenkin Leibnizin kirjeenvaihto Clarcken kanssa 1717). On myös huomattava, että painovoiman luonne on edelleen fysiikan suuri ongelma. Einsteinin yleisen suhteellisuusteorian yhtenä tavoitteena on painovoiman luonteen selvittäminen, ja gravitaatioaalisen vuorovaikutuksen selittämiseksi on esimerkiksi postuloitu erityinen alkeishiukkastyyppeiksi, gravitoni (joita ei kuitenkaan toistaiseksi ole havaittu).

Newtonin luonnonfilosofian mullistavat tulokset vaivasivat myös häntä itseään. Painovoiman toiminta oli outoa ja peräti käsittämätöntä. Vuonna 1693 hän myönsi kirjeenvaihdossaan Richard Bentleylle (1662–1742), että ajatukset painovoimasta aineen sisäsyntyisenä ominaisuutena ja kappaleiden vuorovaikutuksesta tyhjiön läpi olivat täysin käsittämättömiä (Newton 2004, 102–103). Newtonin lopullinen kanta tuntuu kuitenkin poikkeavan tästä varhaisemmasta epävarmuudesta painovoiman todellisuuden suhteen. *Principian* (1999, 943) lopussa hän kirjoittaa:

”En ole vielä onnistunut johtamaan ilmiöistä näitä painovoiman ominaisuuksia [niitä välittävää mekanismia, kuten eetteriä], enkä tee hypoteeseja. Mitä tahansa mitä ei ole johdettu ilmiöistä tulee kutsua hypoteesiksi. Hypoteeseilla, olkoot ne sitten metafysisiä tai fyysisiä, perustuivat ne sitten okkulttisiin (so. piilossa oleviin) tai mekaanisiin ominaisuuksiin, ei ole sijaa kokeellisessa filosofiassa. Tässä kokeellisessa filosofiassa väitteet johdetaan ilmiöistä ja yleistetään induktion avulla. [...] On riittävää todeta, että painovoima on todella olemassa ja että se toimii niiden lakien mukaisesti, jotka olemme esittäneet, ja että se on riittävä selittämään kaikki taivaallisten kappaleiden liikkeet sekä vuorovedet.”

Newton katsoi, että hän oli johtanut painovoimalain ilmiöistä. Tällä hän tarkoittaa, että painovoimalaki on johdettavissa taivaankappaleiden liikkeistä kuvaavista Keplerin empiirisistä laeista tiettyjen rakenteellisten oletuksien sekä taustaoletuksien avulla (ks. Belkind 2012). Tätä tulosta hän piti ”täsmällisesti tai lähes täsmällisesti totena, vastakkaisista hypoteeseista huolimatta” (Newton 1999, 796). Hän ei kuitenkaan pitänyt tulostaan ehdottomana, vaan piti mahdollisena että muut havainnot voisivat osoittaa teorian rajallisuuden tai sen tarkentamisen tarpeen. Hän hyväksyi myös alustavien hypoteesien käytön luonnonfilosofiassa, kunhan ne ovat muotoiltavissa niin, että niillä on koeteltavissa olevia seurauksia (ks. etenkin *Optiikan* kysymys 21, jossa Newton

vakavissaan pohtii eetteri-hypoteesin selittävää roolia). Pelkät hypoteesit, kuten Descartesin oletus pyöreeetteristä, eivät Newtonin mukaan ole päteviä luonnonfilosofia väitteitä, sillä ne eivät ole empiirisesti eli havainnollisesti, laskennallisesti ja kokeellisesti koeteltavissa.

Lopulta Newton (ks. 1999, 940) oli yksiselitteinen sen suhteen, ettei painovoimalla ole mekaanista alkusyytä. Newton oli teisti ja katsoi, ettei painovoima antanut lopullista selitystä kappaleiden liikkeille. Niiden selittämiseksi hän vetosi Jumalaan. Hänen mukaansa painovoima selittää planeettojen liikkeitä, mutta ei sitä, kuka järjesti ne ja laittoi alunperin liikkeelle.

Optiikka

Optiikka oli 1600-luvulla eräs keskeisimmistä luonnontieteen tutkimusaloista, ja lähes jokaisella matemaattisesti painottuneella ajattelijalla oli oma tutkimuksensa aiheesta: esimerkiksi Pierre de Fermat (1601–1665) ja Willebrord van Roijen Snell (1580–1628) olivat kiinnostuneita erityisesti valonsäteiden käyttäytymisestä kahden aineen rajapinnassa. Filosofit Benedictus Spinoza (1632–1677) taas tunnettiin myös laadukkaiden linssien hiojana. Useiden saavutusten joukossa oli kaksi erityisen huomionarvoista tapausta: Galileo Galilei rakensi ensimmäisten joukossa toimivan linssikaukoputken, ja Descartes julkaisi suuremmalle yleisölle kohdistetun, mutta matemaattisesti silti kohtuullisen vaativan teoksensa *Optiikka*, jossa hän muun muassa kuvaili tarkasti linssien valmistukseen tarkoitettua mekaanista koneen, jota hän ei kuitenkaan yrittänyt rakentaa käytännössä.

Kuitenkin vielä paljon ongelmia oli ratkaisematta. Linssikaukoputkessa oli selviä rajoituksia: kaikki tarkasteltavat kohteet näkyivät valokehän ympäröimänä, joka häytti tarkkojen havaintojen tekemistä. Lisäksi Descartesin optiikan heikkoudet alkoivat paljastua. Robert Hooke (1635–1703), Newtonin kilpakumppani, yritti luoda oman versionsa Descartesin linssikoneesta ja tuli siihen tulokseen, että kone ei voisi periaatteessakaan toimia (Grayling 2006, 147–148).

Newton kiinnitti tutkimuksissaan ensimmäisenä huomiota valon rakenteeseen: antiikin ajoista saakka valkoista auringonvaloa oli pidetty puhtaana, ja kaikkea muuta väriä epäpuhtaana vääristymänä tuosta valkoisesta valosta. Tosin havaintoaineistoa asiasta ei ollut: kreikkalaiset tunsivat suurennuslasin (näkölasin) ja suorittivat myös teoreettista tutkimusta optiikasta (esim. Eukleides ja Heron n. 10–70 jaa.), mutta eivät rakentaneet kehittyneempiä optisia laitteita.

Newton kehitti oman teoriansa johdattamalla valkoisen valon prisman, kolmionmuotoisen lasiesineen läpi ja havaitsemalla siitä syntyneen spektrin.

Kuva 3: Prisma (commons.wikimedia.org)

Lisäksi Newton asetti uuden spektrin yksittäisen spektrivärin tielle ja havaitsi, että väri ei enää jakautunut uusiin väreihin. Tästä Newton päätteli, että prisma ei vääristä puhdasta valkoista valoa, vaan erottaa siinä esiintyvät värit toisistaan.

Newtonin optiikan toinen suuri oivallus liittyi epäsuorasti edellisiin tuloksiin. Newton ymmärsi, että kaikenlaisten suurentavien tai pienentävien linssien läpi kulkiessa valkoinen valo hajosi spektrin eri väreihin, ja tämä saa aikaan epätarkkuuksia, mm. edellä mainitun valokehän. Newtonin ratkaisu olikin korvata linssi suurentavalla peilillä, joka tosin kääntää kuvan ylösalaisin, mutta poistaa häiritsevän epätarkkuuden. Newton jopa rakensi itse oman peilikaukoputkensa ja huomasi sen kiistattomat edut linssikaukoputkeen verrattuna.

Absoluuttinen aika ja avaruus

Newtonin luonnonfilosofiaan sisältyvä oletus ajan ja avaruuden absoluuttisuudesta on epäilemättä sen kiistellyimpiä osia. Kysymys ajan ja avaruuden luonteesta herätti kiivasta keskustelua varhaismodernilla aikakaudella ja on edelleen ajankohtainen aihe niin luonnontieteiden kuin filosofiankin piirissä.

Newtonin argumenttia absoluuttisesta avaruudesta voidaan lähestyä liikkeen suhteellisuutta ja todellisuutta koskevan kahden esimerkin kautta.

Ajatellaan ensiksi kahta havaitsijaa, A ja B. A on paikoillaan juna-aseman laiturilla, ja B matkustaa junassa A:n suhteen tasaisella nopeudella v .

A:n mielestä hän itse on paikoillaan, ja B liikkuu. Miten B näkee tilanteen?

B:n näkökulmasta hän itse on paikoillaan junassa, ja A näyttää liikkuvan nopeudella v .

Kumpi on oikeassa? Vastaus on yksinkertainen: he ovat molemmat oikeassa. Tässä ei ole ristiriitaa, koska tasainen liike on suhteellista. Erottelu sen välillä, kumpi "todella" liikkuu, on näennäinen.

Otetaan toinen esimerkki. Työpöydälläni on näppäimistö. Päätän työntää sitä, ja havaitsen sen lähtevän levosta liikkeelle työntävän sormeni suuntaisesti. Mitä Newtonin mukaan tässä tilanteessa tapahtuu? Hänen mukaansa näppäimistö todella liikkuu, koska kyse on voiman aiheuttamasta liiketilän muutoksesta eli näppäimistön kiihtyvästä liikkeestä. Jos kappaleeseen kohdistuu voima, aiheutuva liike on todellista eikä vain näennäistä tai suhteellista.

Mikä ero A:n ja B:n keskinäisillä liiketiloilla ja näppäimistöni liiketilalla on? Newtonin mukaan ero on seuraava: A:han (havaitsija juna-aseman laiturilla) ja B:hen (havaitsija junassa) ei kohdistu voimia (jätämme taas ilmanvastuksen ja kitkan huomiotta), mutta näppäimistöön kohdistuu voima. Newton (1999, 412) selventää kantaansa seuraavasti: "Todellista liikettä tapahtuu vain silloin, kun liikkuvaan kappaleeseen kohdistuu vaikuttava voima."

Todellisen liikkeen käsite ei ole mielekäs, ellei liikkuvan kappaleen suhteen oleteta todella levossa olevaa, liikkumatonta vertailukohtaa. Newton tulkitsee, että hänen liikelakinsa edellyttävät absoluuttisen, täysin homogeenisen euklidisen kolmiulotteisen avaruuden, jonka suhteen kappaleet ovat levossa tai liikkuvat. Tätä

absoluuttista avaruutta Newton (1999, 408) luonnehtii *Principiassaan* seuraavasti: "Absoluuttinen avaruus pysyy aina samanlaisena ja liikkumattomana luonnostaan ja vailla suhdetta mihinkään ulkoiseen." Absoluuttinen avaruus on Newtonin mukaan täysin riippumaton kappaleiden olemassaolosta. Kappaleet täyttävät määrätyn paikan tässä absoluuttisessa avaruudessa. Vaikka maailmankaikkeus ei sisältäisi kappaleita, havaittsijoita tai mitään luonnontapahtumia, tämä kolmiulotteinen euklidinen rakenne silti säilyisi.

Vastaavasti kun kappaleet todella liikkuvat määrätystä suunnasta määrätyn matkan, ne tekevät sen määrätystä, absoluuttisessa ajassa. Kuten avaruus, aika on Newtonille olemassa itsessään, mistään muusta riippumatta: "Absoluuttinen, tosi, matemaattinen aika, virtaa itsestään ja luonnostaan tasaisesti vailla suhdetta mihinkään ulkoiseen ja on toiselta nimeltään kesto" (Newton 1999, 408). Newtonin mukaan absoluuttinen aika siis "virtaa tasaisesti". Tästä seuraa kaksi asiaa. Ensinnäkin samanaikaiset tapahtumat ovat kaikkien havaittsijoiden näkökulmasta todella ehdottoman samanaikaisia, sillä niiden välinen kesto on nolla (tähän oletukseen Einstein myöhemmin tarttui kriittisesti suppeassa suhteellisuusteoriassaan). Toiseksi kahden eriaikaisen tapahtuman välinen kesto on absoluuttinen, eli kesto on sama havaittsijasta riippumatta. Kesto ei Newtonin mukaan riipu lainkaan avaruudellisesta sijainnista, vaan se on yleispätevästi sama kaikille havaittsijoille: "Hetken kesto on sama Roomassa ja Lontoossa, Maan päällä ja tähdissä, ja kaikkialla avaruudessa" (Newton 2004, 26). Ajalla on Newtonin mukaan myös yksiselitteinen suunta menneisyydestä tulevaisuuteen, varhaisemmista tapahtumista myöhäisempiin. Aika virtaa kuin joki, meistä riippumatta. Samalla tavalla avaruuden rakenne on absoluuttinen. Voimme kiihdyttää, pyörittää ja jarruttaa kappaleita, mutta aikaa tai avaruutta itseään emme voi muuttaa.

Newtonin absoluuttisessa ajassa ja avaruudessa on kuitenkin jotain perustelematonta. Hän tuntuu ottavan annettuna, että kappaleet sijaitsevat absoluuttisessa avaruudessa ja että aika itsessään kulkee menneisyydestä tulevaisuuteen tasaiseen, absoluuttiseen tahtiin. Millä tavalla aikaa ja avaruutta itseään voisi havaita, mitata, tai muuten empiirisesti koetella? Newton ei pystynyt todistamaan absoluuttisen ajan ja avaruuden olemassaoloa. Ne eivät ole aistein havaittavia kohteita, vaan teoreettinen oletus, jonka avulla Newton katsoi perustelleensa luonnolakiensa objektiivisuuden (ks. DiSalle 2004). Newtonin oletuksen taustalla onkin vahva realismi luonnolakien sekä voimien ontologisen aseman suhteen. Nykyfysiikassa luonnolakien pätevyden ja niiden soveltamisen taas katsotaan riippuvan inertiaalikoordinaatistojen sopimuksellisesta valinnasta, eikä voiman käsite ole sille enää välttämätön.

Toisaalta on huomattava, että Newton argumentoi absoluuttisen avaruuden olemassaolon puolesta suorittamansa empiirisen kokeen avulla. Newton (1999, 412–413) raportoi helposti toistettavasta kokeestaan, jossa hän täytti ämpäriin vedellä, satoi sen sankaan köyden ja kiinnitti köyden kattoon. Hän kiersi ämpäriä niin paljon kuin köysi antoi myöten ja päästi ämpäriä pyörimään. Aluksi ämpäri pyöri ja veden pinta on tasainen. Ämpäriä pyörittäessä hetken veden pinta muuttuu koveraksi, koska ämpäriä kitkavoima saa vedessä aikaan ympyräliikkeen. Kun sekä ämpäri että vesi liikkuvat, ne ovat levossa toistensa suhteen. Veden ympyräliike kuitenkin osoittaa, että siihen kohdistuu voima. Veden ympyräliikettä ei pysty selittämään ämpäriä ja veden keskinäisillä suhteellisilla liikkeillä; pätevä selitys tälle ilmiölle edellyttää Newtonin mukaan absoluuttiseen avaruuteen viittaamista. Vaikka kokeen argumentatiivinen voima on kyseenalainen, jopa nykyfysiikassa ja sen filosofiassa jotkut tutkijat (esim. Green 2004 ja Maudlin 2012) suhtautuvat Newtonin argumenttiin osittain suopeasti, jos kiihtyvyyksien (kuten veden ympyräliikkeen) ymmärretään tapahtuvan absoluuttisen aika-avaruuden suhteen.

Newton ja alkemia

Newton on vakiintunut yhdeksi modernin tieteellisen maailmankuvan keskeisimmistä hahmoista. Tämä kuva Newtonista kuitenkin kyseenalaistui 1930-luvulla, kun hänen yksityisiä kirjoituksia tuli julkisuuteen. Nämä tekstit osoittivat, että Newton oli matemaattis-fysikaalisen työnsä lisäksi mitä suurimmassa määrin kiinnostunut alkemiasta ja raamatullisesta eksegeesistä.

Newton tutki yksityisesti myös alkemiaa ja kirjoitti siitä valtavasti, yhteensä noin miljoona sanaa eli 4000–5000 nykyaikaista konekirjoitettua sivua, josta hän ei kuitenkaan julkaissut elinaikanaan mitään. Hän teki käytännön kokeita ja kirjoitti *Index chemicuksen*, jossa hän yrittää jäsentää kaiken tiedon alkemian laajassa kentässä. Teoksen laaja lähdeaineisto kertoo Newtonin perehtyneisyydestä alkemiaan. Vasta 50-vuotiaana Newton päätti lopettaa alkemistiset kokeilunsa, luultavasti joko tulosten puutteen tai elohopeamyrkytyksestä saamiensa terveysongelmien takia.

Alkemian eri muotoja yhdistää usko aineen kykyyn muuttua eli transmutoitua toiseksi, jalommaksi aineeksi. Tätä jalostumista pidettiin kaiken aineen luonnollisena taipumuksena ja kultaa vuorostaan kaikkein jaloimpana aineena, jota kohti kaikki muu aine pyrkii. Alkemian historia on todella vanhaa ja jo egyptiläisistä papyruskääröistä ja juutalaisista muinaiskirjoituksista voidaan löytää reseptejä ja viittauksia siihen, miten alempia metalleja voidaan muuttaa kullaksi.

Alkemistit ovat myös yleisesti omaksuneet kreikkalaisen tähtitieteilijän, astrologin ja maantieteilijän Klaudius Ptolemaioksen (85–165 jKr.) *Tetrabibloksessa* esitetyn ajatuksen, että eri metallit edustavat eri planeettoja, joka kytkee myös astrologian alkemistisiin reaktioihin. Esimerkiksi kun Newton kirjoittaa, että "Sain valmiiksi ihanteellisen liuoksen. Ensin kaksi samanlaista suolaa nostattaa Saturnuksen. Sitten hän (Saturnus) nostattaa kiven ja yhdistyy muuntuvaan Jupiteriin", kirjoittaa hän tässä nimenomaisesti Iyjyn (Saturnus) ja tinan (Jupiter) ominaisuuksista. Pääosin Newton luottaa uuden ajan alun alkemistien, kuten Michael Maierin (1568–1622) ja Jean D'Espagnetin (1564–1637) kirjoituksiin joita hän täydensi ja selvensi *Index Chemicuksen* avulla. Myös Paracelcuksen (1493–1541) rooli oli tärkeä: häneltä Newton omaksui, että kaikki aineet koostuvat sulfuurista ja merkuurista, jotka eivät ole tavallista rikkiä tai elohopeaa, vaan niiden abstrakteja muotoja, käsitteitä tai elementtejä, jotka auttavat ymmärtämään kaikkia alkemiallisia reaktioita. Aiemmin samassa roolissa olivat Aristoteleenkin mainitseman neljä maanpäällistä elementtiä: maa, ilma, tuli ja vesi.

Newton luotti alkemiassa vahvasti aikalaislähteisiinsä, mutta käänsi toisaalta itselleen myös Smaragditalun, hermeettisen alkemian oleellisen julistuksen, jota monet alkemistit ovat pitäneet alansa perustana. Kirjoituksen alkuperää ei tiedetä, mutta se on kirjoitettu viimeistään 1100-luvulla, mahdollisesti jo antiikin aikana.

Nykyään alkemiaa, viisasten kiven etsintää tai yleisesti metallien transmutaation tutkimista pidetään näennäistieteenä. Toisaalta on huomattava, että alkemia oli oppialana nykykemian edeltäjä, ja kemia on saanut nimensäkin alkemian mukaan. Vaikka nykykemian ei tunnustakaan aineiden transmutaatiokykyä, tähtitaivaan ilmiöiden vaikutuksia eri aineisiin tai hermeettisten kirjoitusten auktoriteettiasemaa, alkemian piirissä käytettiin myös samanlaisia menetelmiä kuin nykykemiassa: aineiden luokittelua niiden ominaisuuksien perusteella sekä näiden keskinäinen reagoinnin tutkimista esimerkiksi kuumentamisen, liuottamisen ja koaguloitumisen avulla.

Newtonin alkemiharrastuksesta vaiettiin pitkään: monet luonnontieteilijät kokivat häpeällisenä sen, että mekaniikan ja taivaanmekaniikan keskeisin vaikuttaja "sortui kopioimaan alkemistista runoutta", kuten David Brewster, Newtonin elämäkerran kirjoittaja kommentoi asiaa 1800-luvulla. Newtonin muistiinpanot alkemiasta julistettiin julkaisukelvottomaksi ja ne olivat pitkään unohdettuina arkistoissa. Toisaalta luonnontieteilijä-Newtonin puolustukseksi voidaan sanoa, että hänen alkemiharrastustaan tuntuu motivoineen erityisesti yritys ymmärtää aineiden välisiä prosesseja.

Newtonin vastaanotto filosofien keskuudessa

Newtonin aikalaiset ja seuraajat suhtautuivat tämän työhön osin arvostelevasti, osin rakentavasti ja osin jopa kiihkoilevan ihailvasti. Newtonin matemaattis-kokeellinen menetelmä sai osakseen ihailua empiristien, esimerkiksi David Humen (1711–1776), keskuudessa. Toisaalta monet, kuten John Locke (1632–1704), Leibniz, ja myös Hume, pitivät hänen painovoimalakinsa kaukovaikutusta hyvin arveluttavana luonnonfilosofisena periaatteena. Tutkielmassaan *Liikkeestä (De Motu)* George Berkeley (1685–1753) vuorostaan kritisoi terävästi Newtonin voiman käsitettä, koska se ei liikkeen muutoksen syynä ole havaittavissa. 1700-luvulla käytiin kiista relationistisen ja absoluuttisen ajan ja avaruuden teorian välillä. Leibniz edusti relationismia ja Newton absolutismia (ks. [Leibniz: Metafyysikka](#)). Kant esitti myöhemmin vuosisadan lopulla, että aika ja avaruus ovat transsendentaalisesti ideaalisia aistimellisuuden muotoja. Hän katsoi tämän kumoavan sekä Leibnizin että Newtonin kannat, jotka molemmat Kantin mielestä pitivät aikaa ja avaruutta olioina sinänsä. Toisaalta Kant pyrki myös todistamaan metafysisesti Newtonin fysiikan peruslait. (ks. [Kant: Transsendentaalinen idealismi](#).)

1800-luvun alkupuolella G. W. F. Hegel (1770–1831) kritisoi Newtonia monelta kantilta. Hän suhtautui varauksella Newtonin argumenttiin painovoimalain yleisyydestä, tämän valon tutkimuksen menetelmiin sekä Newtonin oletetun empiriseen tieto-oppiin. 1800-luvun jälkipuolella itävaltalainen Ernst Mach (1838–1916) kritisoi Newtonin käsityksiä ajasta, avaruudesta, voimasta ja kausaalisuudesta. Hän piti Newtonin vesiämpärikoetta epäonnistuneena yrityksenä osoittaa absoluuttisen avaruuden olemassaolo. 1900-luvun alkupuolella vaikuttanut Wienin piiri yhtyi Machin kritiikkiin. Näiden loogisten positivistien ja empiristien keskuudessa vallitsi laaja Einsteinin suhteellisuusteorian kannatus ja metafyyssisten oletusten vastaisuus. Newtonin oletus ajan ja avaruuden absoluuttisuudesta oli ristiriidassa Einsteinin suppean suhteellisuusteorian (1905) kahden postulaatin kanssa: valon vakionopeus tyhjiössä ja luonnonlakien invarianssi. Hermann Minkowskin (1864–1909) laajennus suppealle suhteellisuusteorialle vuonna 1907 osoitti, että aika ja avaruus eivät ole erillisiä, vaan yhdessä muodostavat neliulotteisen absoluuttisen aika-avaruuden. Einsteinin yleinen suhteellisuusteoria myös kumosi Newtonin oletuksen ajan keston universaaliudesta; kellojen tikitys ei ole riippumaton paikasta. Lisäksi nuori Einstein ja Wienin piirin jäsenet kannattivat empirististä tieto-oppia ja merkitysteoriaa, joka sekin oli jännitteisessä suhteessa absoluuttisen ajan ja avaruuden käsitteiden kanssa: aikaa ja avaruutta itseään ei voi havaita. Wienin piirin mukaan kypsän tieteen ei tulisi sitoutua kausaliteettiin tai absoluuttisen aikaan ja avaruuteen – niihin viittaaminen edellyttäisi metafyyssisiä oletuksia. (Ks. [Looginen positivismi ja Wienin piiri](#).)

Newton: tieteilijä vai filosofi?

Vaikka Newtonin työn vaikutuksen voi havaita ensisijaisesti matematiikassa ja fysiikassa, hänen vaikutuksensa on keskeinen myös filosofiassa. Tämän vaikutuksen luonne ei kuitenkaan ole itsestään selvä, sillä käsitteitä "tieteilijä" (engl. *scientist*) ja "fyysikko" (*physicist*) on käytetty nykyaikaisessa merkityksessä vasta 1800-luvulta lähtien ja Newtonin aikana tämän tutkimusala tunnettiin yleisesti "luonnonfilosofiana" (*natural philosophy*). Vastaavasti on huomattava, että monet nykyään ensisijaisesti filosofeina pidetyt henkilöt, kuten Aristoteles, Descartes tai Leibniz, ovat vaikuttaneet merkittävästi myös erityistieteiden, kuten matematiikan ja fysiikan, kehitykseen.

Osa Newtonin työstä, kuten hänen muotoilemiinsa mekaniikan peruslakeihin perustuva aksiomaattinen järjestelmä sekä sen laskennallinen käyttö ja empiirinen oikeuttaminen, kuuluu selvästi fysiikan piiriin nykymielessä. Toisaalta osa hänen työstään, kuten kausaliteettiin ja absoluuttiseen aikaan ja avaruuteen vetoava argumentointi, on lähempänä filosofiaa. Newtonin tapauksessa ei kuitenkaan ole mielekasta tehdä jyrkkää erottelua fysiikan ja filosofian välillä. Täsmällisempää on sanoa, että hän oli matematiikan ja kokeellisuuden keskeisyyttä korostanut luonnonfilosofi.

Silti Newtonin luonnehtiminen filosofiksi on ongelmallista, eikä hän perinteisesti ole kuulunut filosofian kaanoniin. Filosofian historian johdantoteokset ja yleisesitykset eivät yleensä omista erillistä lukua Newtonille. Hänen työnsä kuitenkin vaikutti merkittävästi esimerkiksi aristoteelisen luonnonfilosofian aseman heikkenemiseen niin filosofian piirissä kuin yleisemminkin. Lisäksi hän kehitti Descartesin luonnontiedettä ja irtautui tämän filosofiasta. Hänen aikalaisensa Locke ja Leibniz sekä 1700-luvulla vaikuttaneista filosofeista niin brittiempiristit Berkeley, Hume ja Thomas Reid (1710–1796), ranskalaiset Voltaire (1694–1778) ja Émilie du Châtelet (1706–1749), *Principian* ranskantaja ja kommentoija, kuin Kantkin näkivät Newtonin luonnonfilosofian tulosten ja menetelmien tärkeyden. Newtonin kokeellinen menetelmä vaikutti osin brittiempirismin muotoutumiseen, ja Kant piti Newtonin matemaattis-fysikaalista menetelmää vallankumouksellisenä.

Newton tänään

Viime aikoina Newtonin merkitystä filosofian kannalta on tuotu enenevässä määrin esiin. Klassiset ongelmat ajan ja avaruuden filosofiassa, kuten kysymys ajan ja avaruuden olemisen tavoista ja erityisesti aika-avaruuden absoluuttisuuden luonteesta sekä kysymys kausaalisuuden roolista fysiikassa tai tieteellisessä tutkimuksessa yleisemmin, ovatkin aikanamme yhtä ajankohtaisia kuin varhaismodernilla ajalla.

1900-luvun alkupuolella kaksi merkittävää murrosta fysiikassa, suhteellisuusteoria sekä kvanttimekaniikka, irtautuivat osittain newtonilaisesta fysiikasta käsityksissään aika-avaruudesta, liikkeestä ja luonnontapahtumien ennaltamääräytyvyydestä. Newtonin fysiikka ei ole kuitenkaan painunut unholaan. Vaikka suhteellisuusteorian ja kvanttimekaniikan mukaan Newtonin teoriat tarjoavat vain likimääräisesti paikkansapitäviä tuloksia, ovat ne kuitenkin useimmiten riittäviä mm. insinöörیتieteiden sovelluksille. Tänäkin päivänä opiskelemme newtonilaista fysiikkaa peruskouluissa, lukioissa ja yliopistojen peruskursseilla. Insinöörit soveltavat Newtonin lakeja aina siltojen ja rakennusten suunnittelusta hydraulikkaan, akustiikkaan, aerodynamiikkaan sekä avaruusluotainten

laukaisemiseen Maan pinnalta. Vuonna 1999 sata maailman johtavaa fyysikköä äänestikin Newtonin kaikkien aikojen toiseksi tärkeimmäksi fyysikoksi. Hänen edelleen ensimmäiselle sijalle äänestyksessä kiri suhteellisuusteoriastaan tunnettu Albert Einstein (1879–1955), ja kolmanneksi hänen jälkeensä jäi sähkömagnetismin kehitykseen vaikuttanut James Clerk Maxwell (1831–1879).

Newtonilaisen fysiikan ja suhteellisuusteorian välinen suhde on edelleen ratkeamaton tieteenfilosofinen kysymys. Ilmentävätkö nämä kaksi täysin erilaista, toisiinsa nähden yhteismitatonta maailmankuvaa, kuten Thomas Kuhn kuuluisasti teoksessaan *Tieteellisten vallankumousten rakenne* (1962) esitti? Vai onko niin, kuten Ilkka Niiniluodon (1999) kaltaiset kriittiset tieteelliset realistit argumentoivat, että Einsteinin teoria on totuudenkaltaisempi kuin Newtonin ja että Newtonin teorian voi katsoa olevan likimain oikeassa?

Realismin ongelma on nähtävissä myös Newtonin mekaniikan ja modernin kvanttimekaniikan keskinäisissä suhteissa. Newtonin mekaniikassa kappaleiden paikat ovat absoluuttisia ja niiden ennustaminen mielivaltaisen tarkasti mahdollista. Kvanttimekaniikassa näin ei ole: kappaleiden paikat ja liikkeet voidaan tietää vain tietyn epätarkkuuden ja todennäköisyyden puitteissa. Toisaalta Newtonin mekaniikka pätee varsin hyvällä tarkkuudella edelleen siinä asiayhteydessä, jota varten se alun perin luotiin, eli makroskooppisten kappaleiden liikkeiden kuvailussa Aurinkokuntamme mittakaavassa.

Newtonia koskeva tutkimus on viimeisen vuosikymmenen (2005–2015) aikana lisääntynyt huomattavasti. Perinteisesti Newtonia on tutkittu tietnehistorian, etenkin matematiikan ja fysiikan kehityksien, näkökulmasta. Näistä tutkijoista voidaan mainita I. Bernard Cohen, William L. Harper, George E. Smith ja D.T. Whiteside. Nykyään Newtonin työn merkitys nähdään tämän lisäksi myös kiinteämmin osana filosofian historiaa, kuten Andrew Janiak, Steffen Ducheynen, Hylarie Kochiraksen, sekä Eric Schliesserin tutkimukset osoittavat. Nämä filosofianhistorialliset tutkimukset paneutuvat Newtonin työn teknisen argumentaation lisäksi myös erityisesti Newtonin episteemisiin, semanttisiin, ontologisiin, metafysiisiin, sekä teologisiin käsityksiin. Lisäksi häntä tutkitaan myös elämäkerrallisesta (esim. Richard S. Westfall) ja kulttuurihistorian (Patricia Fara) näkökulmasta. Elämäkerrallinen ja kulttuurihistoriallinen tutkimus on valottanut Newtonin henkilöä, tämän perhetaustaa, sosiaalisia sekä yhteiskunnallisia suhteita ja niiden merkitystä hänen luonnonfilosofiselle työlleen. Newtonin tieteestä, filosofiasta, sekä teologiasta on julkaistu useita kirjoja, artikkeleita, sekä populaaritieteellisiä tv-dokumentteja.

Newtonin vaikutus Suomessa

Newtonin vaikutus alkoi näkyä Suomessa merkittävässä määrin 1700-luvun jälkimmäisellä puoliskolla. Sitä ennen esimerkiksi matematiikan ja luonnontieteiden opetus perustui Ptolemaioksen maakeskiseen maailmankuvaan sekä perinteiseen euklidiseen geometriaan. Myös Christian Wolffin (1679–1754) mukaan nimetty wolffilaisuus, joka perustui Leibnizin filosofiaan, vaikutti vahvasti yliopistossa. Kartesiolaisuudella oli myös jonkinlainen asema.

Newtonin oppien Suomeen saapuminen ei kuitenkaan ole yhtä yksinkertaisesti paikannettavissa kuin skolastiikan, kartesiolaisuuden tai wolffilaisuuden rantautuminen, koska Newton ei ollut systeeminrakentaja,

vaan keskittyi lähes pelkästään mekaniikan kysymyksiin. Aluksi Newtoniin tehtiin vain yksittäisiä viittauksia. Esimerkiksi Henrik Hassel (1700–1776) mainitsee hänet vuoden 1744 tutkielmassaan *De libertate philosophandi* fluksionimenetelmän luoja. Turun piispa, poliitikko ja tieteilijä Jakob Gadolin (1719–1802) hyödyntää pienimuotoisesti *Principian* propositioita koneenrakennuksen tutkielmassaan *Tanke-försök til närmare utredande af mekaniska häf-tyget wiggens egenskaper* vuodelta 1757. Lisäksi Martin Johan Wallenius (1731–1773) väitöskirja vuodelta 1759 käsittelee Newtonin *Arithmetica Universalis* -teoksen ongelmia geometrisesti. Wallenius, jonka omat matemaattiset tutkimukset herättivät poikkeuksellista kiinnostusta myös Keski-Euroopassa, tuntuu olleen newtonilaisuuden kannalta keskeisessä asemassa, sillä alla mainittu Anders Lexell oli hänen oppilaansa.

Newtonilaisuuden vakiintumiseen Suomen akateemisessa maailmassa vaikutti epäilemättä eniten suomalainen, lähinnä Pietarissa työskennellyt tähtitieteilijä ja matemaatikko Anders Lexell (1740–1784). Vuosina 1760–1770 hän muotoili Newtonin lakeja soveltaen kaksi merkittävää ennustetta: muiden planeettojen liikkeisiin perustuen hän ennusti epäsuorasti Uranus-planeetan olemassaolon sekä ennakoi erään komeetan sinkoutumisen ulos aurinkokunnan sisäosista. Myöhempien vuosikymmenien havainnot, jotka tukivat Newtonin mekaniikan mukaisia ennustuksia, vahvistivat lopullisesti Newtonin järjestelmän yliveritaisuuden kilpaileviin järjestelmiin nähden niin Suomessa kuin muuallakin Euroopassa: Newtonin mekaniikan ansiosta ilmiöitä voitiin ennustaa ja todistaa tarkkuudella, joka ei siihen saakka ollut mahdollista.

Nykyään Newtonin periaatteiden asemaa yliopistossa ei nykyään tarvitse perustella niin Suomessa kuin muuallakaan maailmassa. Pääosa tutkimuksesta ja opetuksesta keskittyy kuitenkin ymmärrettävästi hänen fysiikkansa modernisoituun muotoon sekä sen jatkosovelluksiin.

Newtonia esitellään monipuolisesti teoksessa *Isaac Newton – jättiläisen hartioilla* (Lehti et al. 1988). Kirjassa Raimo Lehti, Tapio Markkanen, Ilkka Niiniluoto, K.V. Laurikainen ja monet muut tieteenfilosofian ja -historian tuntijat arvioivat Newtonia, newtonilaisuuden historiallista taustaa sekä newtonilaisuuden seurauksia niin aatehistorian, filosofian, luonnontieteiden kuin alkemiankin näkökulmasta.

Muita laajoja esityksiä Newtonista ei tiettävästi ole julkaistu suomeksi. Lisäksi 1600- ja 1700-luvun suuriin filosofeihin verrattuna Newtonia koskeva filosofinen tai historiallinen tutkimus on Suomessa ollut vähäistä.

Suosittelavaa jatkolukemista

Newtonin keskeiset teokset:

(1999) [1687]. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. ("Principia", Luonnonfilosofian matemaattiset perusteet.) Useita eri painoksia: Lontoo (1687), Cambridge (1713), Lontoo (1726), Harvard University Press, Cambridge (1972), University of California Press, Berkeley (1999).

(1952) [1704]. *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. (Optiikka. Tutkielma valon värien heijastuksista, taitumisista ja suunnan muutoksista.) Eri painoksia: Lontoo (1704),

(1706), ja (1717/18), Dover Publications, New York (1952).

(2004). Newton's Philosophical Writings. (Toim. Andrew Janiak). Cambridge University Press, Cambridge.

– Hyvä kokoelma Newtonin filosofisia kirjoituksia. Sisältää myös Andrew Janiakin helppolukuisen johdannon.

Muut:

Westfall, Richard (1993). The Life of Isaac Newton. Cambridge University Press, New York.

– Klassikoksi muodostunut Newtonin elämäkerta.

Janiak, Andrew (2008). Newton as Philosopher. Cambridge University Press, New York.

– Etenkin Newtonin työn filosofisia puolia käsittelevä yleisteos.

Janiak, Andrew (2015). Newton. Wiley Blackwell, Malden.

– Teoksen luku 2, sivut 17–36, sisältää perusteellisen analyysin siitä, tulisiko Newtonia pitää "tieteilijänä" vai "filosofina".

Ducheyne, Steffen (2012). The Main Business of Natural Philosophy. Isaac Newton's Natural-Philosophical Methodology. Springer, Dordrecht.

– Perinpohjainen teos Newtonin luonnonfilosofiasta. Osio Newtonin filosofian ja tieteen taustoista on erityisen kattava.

Fara, Patricia (2002). Newton. The Making of Genius. Pan Macmillan, Lontoo.

– Teos kartoittaa Newtonin kulttuurihistoriallisia vaikutuksia. Fara analysoi mm. sitä, miten Newtonista tehtiin kansallissankari Britanniassa 1700-luvulla, ja millä tavalla Newtonin ja Descartesin fysiikoiden vastaanotto Euroopassa oli riippuvaista myös poliittisista tekijöistä, kuten Englannin ja Ranskan välisestä sodankäynnistä.

Juti, Riku (2013). Tiedon filosofia – antiikista nykyaikaan. Gaudeamus, Helsinki.

– Kirjan luku 14, sivut 241–246, on loistava katsaus Newtonin tiedon filosofiaan.

Belkind, Ori (2012). "Newton's scientific method and the universal law of gravitation". Teoksessa Janiak, Andrew, Schliesser, Eric (toim.). Interpreting Newton. Critical Essays. Cambridge University Press, Cambridge. 138–168.

– Artikkelissa esitetään perusteellisesti, minkälaista tieteellistä menetelmää Newton käytti argumentissaan yleisestä painovoimalaista, eli mitä Newton tarkoitti ilmaisullaan "johtaa ilmiöistä". Artikkelin on palkitseva ja terävän analyttinen, mutta varsin vaativa. Edellyttää perustietämystä newtonilaisesta fysiikasta ja siihen liittyvästä matematiikasta.

Cushing, James T. (1998). Philosophical Concepts in Physics. The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories. Cambridge University Press, Cambridge.

– Sisältää erittäin selkeän esityksen Newtonin luonnonfilosofian, dynamiikan ja optiikan, pääkohdista. Edellyttää perustietämystä newtonilaisesta fysiikasta ja siihen liittyvästä matematiikasta. Ks. etenkin luku "The Newtonian Universe", sivut 87–132.

Stein, Howard (2004). "Newton's Metaphysics". Teoksessa I. Bernard Cohen, George E. Smith (toim.). *The Cambridge Companion to Newton*, 256–307. Cambridge University Press, Cambridge.

– Artikkelilähesty Newtonin metafysiikkaa peilaamalla sitä Descartesin filosofiaan. Metafysiikka ymmärretään tässä sekä käsityksenä maailman perustavasta rakenteesta että ihmisen mahdollisuudesta saavuttaa tietoa siitä.

DiSalle, Robert (2004). "Newton's Philosophical Analysis of Space and Time". Teoksessa I. Bernard Cohen, George E. Smith (toim.). *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge University Press, Cambridge. 33–56.

– Tiivis ja jokseenkin haastava, mutta samalla hyvin kattava johdatus Newtonin ajan ja avaruuden filosofiaan.

DiSalle, Robert (2006). *Understanding Space-Time: The Philosophical Development of Physics from Newton to Einstein*. Cambridge University Press, New York.

– Historiaa ja systemaattista filosofiaa yhdistävä tutkimus aika-avaruudesta fysiikan historiassa Newtonista Einsteiniin.

Earman, John (1989). *World Enough and Space-Time: Absolute versus Relational Theories of Space and Time*. MIT Press, Cambridge, MA.

– Absolutistista ja relationistista aika-avaruutta erittelevä teos, jossa filosofia ja fysiikka sekä niiden tarinat yhdistetään hyvin tiiviisti.

Greene, Brian (2004). *The Fabric of the Cosmos. Space, Time, and the Texture of Reality*. Borsari Books, New York.

– Teos sisältää helposti lähestyttävän osuuden ajan ja avaruuden filosofiaan. Newtonin lisäksi käsitellään myös muita ajan ja avaruuden filosofian suurnimiä, kuten Leibnizia, Machia ja Einsteinia. Ks. etenkin luvut 2 ja 3, sivut 23–76.

Kirjallisuus

Aristoteles (2003). Teokset 4. Taivaasta. Syntymisestä ja häviämisestä. Suom. Petri Pohjanlehto, Tuija Jatakari. Gaudeamus, Helsinki.

Arthur, Richard (2007). "Beckman, Descartes and the Force of Motion". *Journal of History of Philosophy*. Volume 45, Number 1, January, s. 1–28

Berkeley, George (1992). *De Motu and the Analyst*. Käänt. ja toim. Douglas M. Jesseph. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Clarke, Desmond M (1977). "The Impact rules of Descartes' Physics". *Isis*, vol. 68, no. 1. 55–66.

Cohen, I. Bernard (1999). "A Guide to Newton's Principia". Teoksessa Cohen, I. Bernard, Whitman, Anne & Budenz, Julia (toim.). *The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy*. University of California Press, Berkeley. 1–370.

Descartes, René (2003). Teokset III. Suom. Mikko Yrjönsuuri. Gaudeamus, Helsinki.

Einstein, Albert (2003) [1916]. Erityisestä ja yleisestä suhteellisuusteoriasta yleistajuisesti. Suom. ja komm. Raimo Lehti. Ursa, Helsinki. Alkuteos: Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. Springer Verlag, Heidelberg, 2009 [1916]. Englanniksi: Relativity. The Special and General Theory. Käänt. Robert W. Lawson. Routledge, Lontoo ja New York, 2001.

Gadolin, Jakob (1757). Tanke-försök til närmare utredande af mechaniska häf-tyget wiggens egenskaper. Kuninkaallinen Turun akatemia. (URL: <http://www.doria.fi/handle/10024/50984>)

Grayling, Anthony Clifort (2006). Descartes. The Life of René Descartes and Its Place in His Times. Pocket Books, Berkshire.

Hassel, Henrik (1744). De libertate philosophandi. Kuninkaallinen Turun akatemia (URL: <http://www.doria.fi/handle/10024/51543>)

Keynes, Milo (2008). "Balancing Newton's mind: his singular behaviour and his madness of 1692–93". Notes & Records. The Royal Society Journal of the History of Science vol. 62, no. 3, 289–300.

Kuhn, Thomas (1994) [1962]. Tieteellisten vallankumousten rakenne. Suom. Kimmo Pietiläinen. Art House, Helsinki. (The Structure of Scientific Revolutions, 1970. University of Chicago Press, Chicago. Toinen, korjattu painos.)

Lehti, Raimo, Markkanen, Tapio & Rydman, Jan (1988). Isaac Newton – jättiläisen harteilla, URSA.

Leibniz, Gottfried Wilhelm (2011) [1717]. "Kirjeenvaihto Samuel Clarken kanssa". Teoksessa Leibniz, Filosofisia tutkielmia. (Toim. Tuomo Aho ja Markku Roinila.) Gaudeamus, Helsinki. (A Collection of Papers, Which passed between the late Learned Mr. Leibniz, and Dr. Clarke, In the Years 1715 and 1716. James Knapton, London.)

Maudlin, Tim (2012). Philosophy of Physics: Space and Time. Princeton University Press, Princeton.

Niiniluoto, Ilkka (1999). Critical Scientific Realism. Oxford University Press, New York.

Pietarinen, Juhani (2012). Eurooppalainen filosofia ja Turun akatemia. Auraica Vol.5, 5–15.

Slavov, Matias (2013). "Newton's Law of Universal Gravitation and Hume's Conception of Causality". Philosophia Naturalis vol. 50, no. 2, 277–305.

Wallenius, Martin Johan (2011) [1759]. Sudden remarks concerning Leibniz's universal principle of optics, as to its use in mirror optics. Käänt. Johan Sten. Alkuteos: Animadversiones subitaneae circa principium universae opticae Leibnitianum quatenus idem in Catoptrica adhibetur. Turun akatemia. (URL: <http://filosofia.fi/se/arkiv/text/5731>)

Internet-lähteet

Stanford Encyclopedia of Philosophy.

<http://plato.stanford.edu/entries/newton/>

<http://plato.stanford.edu/entries/newton-philosophy/>

The Newton Project.

<http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/prism.php?id=1>

Isaac Newton. Theology, Prophecy, Science and Religion. <http://isaac-newton.org/articles/>

Muut lähteet

Newtonista on tehty useita tv-dokumentteja. Näistä voi suositella esimerkiksi PBS:n Nova Sciencen "Newton's Dark Secrets" ohjelmaa vuodelta 2005. Synkästä nimestään huolimatta dokumentti olennaisesti purkaa Newtonin henkilöön liittyviä myyttejä ja sisältää monien merkittävien tieteenhistorioitsijoiden sekä fyysikoiden haastatteluja. Ohjelma on maksullinen, mutta sen käsikirjoitus on ilmaiseksi luettavissa osoitteessa:

<http://www.pbs.org/wgbh/nova/physics/newton-dark-secrets.html>