

## 5 Tieteellinen vallankumous? – 1600-luvun luonnontutkijoita ja matemaatikkofilosofeja

© 2022 Ilpo Halonen, ilpo.halonen@aalto.fi

**Materiaalia saa käyttää ainoastaan henkilökohtaisiin opiskelutarkoituksiin!**

### KIRJALLISUUTTA

Campanella Tommaso, Francis Bacon & David Hume, *Matkoja utopiaan*, toim. Mikko Lahtinen, Vastapaino, Tampere 2002. (Sisältää teokset Campanella, *Aurinkokaupunki*, Bacon, *Uusi Atlantis* & Hume, *Täydellisen valtion idea*.)

Descartes, René, *Teokset 1*, Gaudeamus, Helsinki 2001.

Descartes, René, *Teokset 2*, Gaudeamus, Helsinki 2002.

Descartes, René, *Teokset 3*, Gaudeamus, Helsinki 2003.

Descartes, René, *Teokset 4*, Gaudeamus, Helsinki 2005.

Juti, Riku, *Tiedon filosofia antiikista nykyaikaan*, Gaudeamus 2013.

Lehti, Raimo, Tapio Markkanen ja Jan Rydman (toim.), *Isaac Newton – jäätillaisen hartioilla*, Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Helsinki 1988.

Lehti Raimo, *Leijonan häntä. Luoko tietoa luonto vai ihminen?*, Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry, Helsinki 2001.

*Let Newton be!*, toim. Fauvel, John, Raymond Flood, Michael Shortland & Robin Wilson, Oxford UP 1988.

"Newton, Isaac", hakusana LOGOS- ensyklopediassa, internet-osoitteessa <https://filosofia.fi/fi/ensyklopedia/newton-isaac>

Reuter, Martina, "Rationalismi ja materia", teoksessa Korkman ja Yrjönsuuri (toim.), *Filosofian historian kehityslinjoja*, Gaudeamus, Helsinki 1998.

Rossi, Paolo, *Modernin tieteen synty Euroopassa*, Vastapaino, Tampere 2010.

### 5.1 Tieteellinen vallankumous ?

*Alku:*

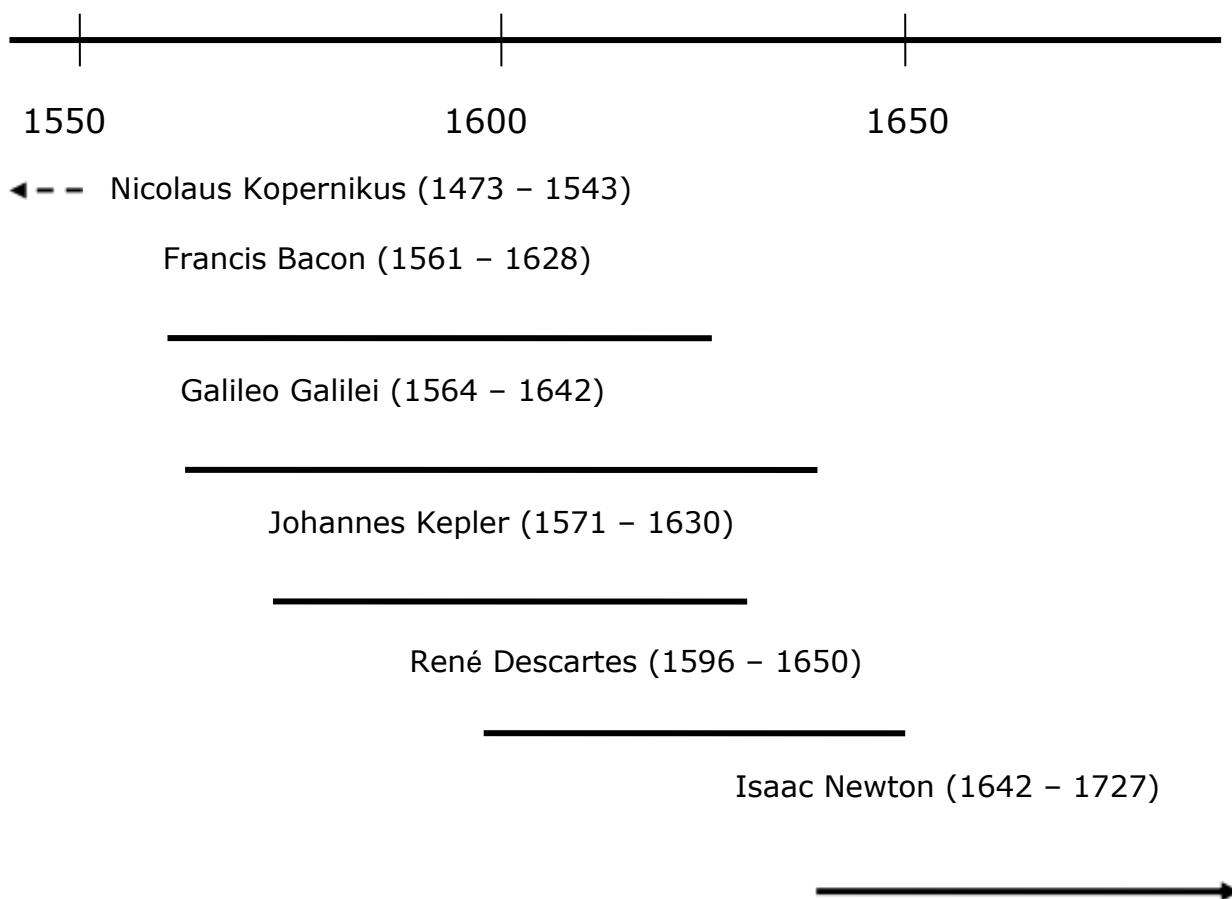
v. 1600 ?

*De revolutionibus orbium coelestium* v. 1543 ?

*Loppu:*

*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* v. 1687 ? *Opticks* v. 1704 ?

v. 1800 ?



*The Great Chain of Being* (1936)

Arthur O. Lovejoy: viisi "kumouksellista teesiä" (1600-l. loppu ja 1700-l.):

1. Aurinkokuntamme muillakin planeetoilla elämää
2. Muurien purkaminen maailmankaikkeuden ympäriltä
3. Kiintotähdet aurinkomme kaltaisia
4. Näiden toisten maailmojen planeetoilla voi olla elämää
5. Fyysinen maailmankaikkeus on ääretön, samoin kuin siinä olevien aurinkokuntien määrä.

## 5.2 Tieto on valtaa - Francis Bacon (1561 – 1626)

### *Bacon ja Descartes: hallitsemisesta ja varmuudesta*

- 1600-luvun alun tärkeimmät antiskeptikot: Francis Bacon ja René Descartes.
- Bacon: tieto ei ole ensisijaisesti totuuden mietiskelyä vaan luonnon tai todellisuuden hallitsemista sitä koettelemalla.
- Descartes: kumouksellinen rationalisti, joka ei kiistänyt aistihavaintojen tekemisen tärkeyttä tutkimuksessa. (Ks. Juti 2013, 179-199.)

Bacon esiintyi uuden tieteen profeettana ehkä tarmokkaammin kuin kukaan muu 1600-luvun alkupuolen ajattelija. Baconin mukaan tieteiden tosiasiallisessa tilassa ei ollut kehumista. Baconin idea: tieteen tehtävänä ei niinkään ole säilyttää ja välittää vanhaa tietoa kuin tuottaa uutta. Kyseessä on tieteellisen edistyksen idea, joka juuri oli murtautumassa oppineiden tietoisuuteen.

Tieteiden juuttuminen paikoilleen johtui selkeiden tavoitteiden puutteesta. Ei oltu oivallettu, että kaiken tieteen ”aito ja asianmukainen päämäärä ei ole mikään muu kuin ihmiselämän rikastuttaminen uusilla keksinnöillä ja tarvikkeilla”. Bacon korostaa metodiopissaan tieteellisen kokeen merkitystä. Kun havainnointien ja kokeiden tuloksista sitten tehdään johtopäätöksiä, on sovellettava induktiivista metodologiaa.

Kirjoitti tieteen menetelmistä ja organisaatiosta – ei itse paljonkaan harrastanut tiedettä. Suunnitteli laajaa tieteen kokonaisuudistusta käsittelevää teosta *Instauratio magna* (Suuri uudistus). Siitä valmistui ensimmäinen osa *De dignitate et augmentis scientiarum* (aikaisempi englanninkielinen versio *The advancement of learning*). Toinen osa *Novum organum* jäi kesken. Muista osista on jäänyt vain katkelmia, mm. teoksen päätökseksi tarkoitettu tieteen instituutioita ja organisaatioita käsittelevä *Nova Atlantis* (Uusi Atlantis).

Bacon oli sen uuden vallan tunteen puhetorvi, joka alkoi levitä länsimaissa tieteen ja tekniikan hallitseman aikakauden aamunkoitteessa. Hän julisti uudenlaista, aktiivista ja käytäntöön suuntautuvaa tiedonkäsitystä. Hän oli tieteiden kumouksen filosofinen lipunkantaja, jonka kanssa tässä tehtävässä kilpailee ainoastaan René Descartes.

### *Uusi Atlantis*

Kirja on utopian lajityypin edustaja. Se alkaa laivamatkalla, jolla eksyttyään matkalaiset päätyvät onnekkaasti tuntemattomaan Bensalemin saareen Etelämerellä. Bacon toivoi myös tässä kirjassaan, että tieteen avulla saavutetaan kyky hallita luontoa eli ihmisen elinolosuhteita. Tämän hallinnon unelman ilmentymänä ovat Bensalemin virkamiehet.

Saaren tiedeyhteisön eli Salomonin huoneen perustehtävästä Bacon toteaa: ”Sen tarkoitus on ihmisen valtapiirin laajentaminen ja tiedon soveltaminen kaikean mahdolliseen.” Tiedeyhteisöllä on autonominen valtiollisesta kontrollista vapaa asema. Bensalemin saaren ero nykyiseen tiedeyhteisöön: ”Me [tiedemiehet] vannomme kaikki salaavamme ne asiat, jotka katsomme aiheelliseksi pitää salassa. Osan ... paljastamme valtiolle ...” Bacon halusi *Uudessa Atlantiksessakin* tehdä tieteestä erikoistuneiden asiantuntijoiden ammattikunnan. Tämä selittää kirjan elitismin – tosin lähes kuka tahansa saattoi päästä ammattikunnan jäseneksi.

#### *Käytännön sovellus: Pohjois-Amerikan asuttaminen?*

Thomas Jefferson: ”Bacon, Locke and Newton, ... I consider them as the three greatest men that have ever lived, without any exception, and as having laid the foundations ... in the Physical & Moral sciences ...”

#### *Tieteelliset seurat*

Vuonna 1662 Lontooseen perustetun *Royal Society*n ohella perustettiin muitakin tiedeseuroja, joiden esikuvana Baconin kirjoituksia on pidetty (näistä lisää myöhemmin). Seurat edustivat uutta ”baconilaista” kokeisiin ja induktiiviseen päättelyyn perustuvaa luonnontiedettä ja muodostivat siten vastapainon yliopistoille, joissa opetus ja tutkimus tapahtuivat usein Raamatun ja Aristoteleen tulkinnan hengessä. Yliopistot, esimerkiksi jo 1200-luvulta asti toimineet Oxford ja Cambridge, eivät siis yleensä olleet tieteellisen muutoksen moottoreita. Luonnontieteen ja tekniikan edistysaskeleita otettiin muualla.

Tieteelliset seurat toimivat aluksi tieteestä kiinnostuneiden tapaamispaikkoina. Ne tarjosivat mahdollisuuden keskusteluun ja tieteellisten kokeiden tekoon. Niille alkoi kuitenkin kertyä nopeasti erilaisia julkisia tehtäviä ja etuoikeuksia, jotka toivat niille myös runsaasti arvovaltaa. Erityisen tärkeäksi kohosi tieteellisten seurojen merkitys tutkimustulosten julkaisijoina ja tiedeyhteisön kansainvälisten verkostojen ylläpitäjinä (mm. julkaisuvaihto).

#### *Gulliverin retket*

Jonathan Swift kuvaa teoksessaan *Gulliverin retket* englantilaisia 1600-luvun luonnonfilosofoja ja tieteellisiä seuraja viiltävän ivallisesti. Yhdellä harharetkellään Gulliver joutuu Laputan lentävälle saarelle, joka hallitsee Balnibarin mannerta. Hän panee merkille, että elämä saarella keskittyy taiteiden ja tieteen ympärille. Tiedettä ei sovelleta helpottamaan ihmisen arkielämää vaan se tutkii täysin turhanpäiväisiä asioita, kuten eräässä akatemiassa, jolla viitataan *Royal Societyyn*.

### *5.3 René Descartes (1596 – 1650)*

Descartes kuului Baconin tavoin uuden tieteen propagandisteihin. Descartesin elämä ja toiminta osuu keskelle ”tieteiden vallankumousta”, ja häntä

pidetäänkin yhtenä tuota tapahtumasarjaa keskeisesti luonnehtivana henkilönä. Hän oli yleisfilosofi, tieteenfilosofi ja tiedemies, erityisesti matemaatikko (analyttinen geometria, karteesinen tulo).

- Descartesin suuri rakennelma ymmärrettiin Euroopan kulttuurissa järjestelmänä, joka näytti perustuvan järkeen.
- Aikakautena, joka oli täynnä suurille henkisille käännekohtille ominaista epävarmuutta, se tarjosi maailmasta johdonmukaisen, harmonisen ja täydellisen kuvan.
- Descartesin oppien leviäminen oli hidasta ja vaikeaa.

*Discours sur la Méthode* (Metodin esitys 1637)

*Meditationes de prima philosophia* (Mietiskelyjä ensimmäisestä filosofiasta 1641)

*Principia philosophiae* (Filosofian periaatteet 1644)

*“I. Totuutta tutkivan on kerran elämässä epäiltävä kaikkea niin laajalti kuin on mahdollista.*

Olemme syntyneet lapsina ja tehneet aistein havaittavista asioista erilaisia arvostelmia ennen kuin järkemme on ollut täysin käytössämme, ja siksi monet ennakkoluulot kääntävät meitä pois päin totuuden tietämisestä. Emme näytä voivan vapautua niistä muuten kuin jos kerran elämässä ryhdymme epäilemään niistä kaikkia, joista löydämme aavistuksenkaan verran epävarmuutta.”

(Descartes 2003, 37.)

Descartes aloitti tällä kehotuksella teoksensa *Filosofian periaatteet*. Epäilyn menetelmällä oli keskeinen asema myös varhaisemmissa teoksissa. Descartesin mukaan siis ihmisen omaksumien huonosti perusteltujen uskomusten varaan ei voi rakentaa varmaa tietoa.

Descartesin tieto-opillinen epäily koostuu seuraavista askelista, jotka täytyy ottaa ennen kuin voidaan löytää perusta varmalle tiedolle:

Ensin pitää epäillä aistien välittämiä havaintoja. Aistit ovat joskus pettäneet aistiharhojen muodossa meitä. Descartesin mukaan ei pidä luottaa siihen, mikä on joskus kerrankin pettänyt. Ihminen voi myös unessa kokea samoja asioita kuin hereillä ollessaan, eikä ole olemassa varmaa tapaa erottaa unta todellisuudesta.

Uniargumentin avulla päädymme epäilemään koko ruumiillista olemassaoloamme: näen ehkä vain unta siitä, että istun ruumiillisena olentona tuolilla ja kirjoitan. Koska aineellisten olioiden olemassaolo on epävarmaa, ovat myös näitä tutkivat tieteet (esim. fysiikka, lääketiede) vailla varmaa perustaa. Sen sijaan matemaattiset tieteet ovat riippumattomia aineellisten olioiden olemassaolosta:

”Sillä valveilla ja unessa kaksi ja kolme ovat yhteensä viisi, eikä neliöllä ole enempää kuin neljä sivua. Ja tuntuu siltä, ettei niin selkeitä totuuksia voisi epäillä epätosiksi.”

(Descartes 2002, 34.)

Tämän jälkeen Descartes menee kuitenkin vielä pitemmälle: on mahdollista, että Jumalan tilalla on kaikkivoipa petollinen jumaluus, joka saa matemaattiset totuudet vain näyttämään tosilta. Tämän viimeisen epäilyn jälkeen Descartes lopulta katsoi löytäneensä yhden asian, jota ei voinut epäillä: Hän itse, minä, joka ajattelee erehtyvänsä, on olemassa ajattelevana olentona. *Cogito ergo sum* – ajattelen, siis olen – oli se varma perusta, jonka varaan Descartes rakensi filosofiaansa.

Methodisen epäilyn päämääränä oli löytää varma tieto-opillinen ja metafyyminen perusta uudelle luonnontieteelle, jonka kehittämisestä Descartes oli koko elämänsä ajan kiinnostunut. Descartesin tieteenfilosofia nojaa ajatukseen, että kaikki erillistieteet ovat yhden yhtenäisen ja yleisen tieteen osia, ja Descartes uskoi, että matematiikka on tämän tieteen yleinen metodi. Mutta ennen kuin voidaan kehittää yksittäisiä tieteitä tai edes niiden yhteistä matemaattista metodologiaa, täytyy Descartesin mukaan varmistaa tieteen metafyyminen perusta. Descartes ylisti Galileita, koska tämä käytti matemaattista metodologiaa fysiikan tutkimuksessaan ja vältti näin monet skolastikkojen ongelmat. Hän kuitenkin myös arvosteli Galileita, koska tämä jätti luonnon ensimmäiset syyt eli metafysiikan tarkastelua vaille.

Epäily erotti Descartesin skolastiikan tietokäsityksestä. Aistien luotettavuuteen kohdistuva epäily on vieras ajatus skolastiselle tietenteorialle. Skolastikot pitivät aistien välittämää tietoa periaatteessa luotettavana, ja he tulkitsivat tämän niin, ettei luonnon tutkimisessa tarvitse käyttää erityisiä välineitä tai suorittaa kokeita. Ne arkielämässä käytetyt tiedolliset kyvyt, joilla Jumala on varustanut ihmisen, kykenevät muodostamaan maailman rakenteen mukaiset käsitteet ja ovat siten luotettavia myös tieteellisessä työssä.

Tärkeää on huomata, että Descartesin epäily on tietoteoreettinen menetelmä, jota käytetään etsittäessä tiedon varmaa perustaa. Arkielämässä ihminen voi ja hänen täytyykin luottaa kokemuksiinsa.

#### *Fysiikan matematisointi*

- ”Minun fysiikassani ei ole mitään, mitä ei olisi myös minun geometriassani.”
- Descartesin fysiikka ankaran deduktiivinen, se oli ”matemaattista fysiikkaa ilman matematiikkaa”
- Kartesiolainen matematiikka ilmeni maailmankuvan aksiomaattisuudessa ja deduktiivisuudessa.

Kirjansa *Mietiskelyjä ensimmäisestä filosofiasta* viimeisessä mietiskelyssä Descartes käsitteli teemaa, josta hänet edellisen lisäksi parhaiten tunnetaan, nimittäin dualistista maailmankuvaansa. Hän käsitteli ensin ulottuvaista eli ruumiillista tai aineellista maailmaa. Hän katsoi osoittaneensa, että mielen ja ruumiin välillä vallitsee todellinen substantiaalinen ero, ja sen jälkeen, että aineelliset oliot ovat olemassa, ja viimeiseksi, että ihmisessä yhdistyy mieli ja ruumis.

(Descartesista lisää: ks. Reuter, Martina, ”Rationalismi ja materia”, teoksessa Korkman ja Yrjönsuuri 1998.)

### Akatemiat / tieteelliset seurat

- Ensimmäiset akatemiat: Accademia dei Lincei v. 1609, Accademia del Cimento, Accademia degli Investiganti
- Pariisi: Académie des Sciences v. 1666
- Lontoo: Royal Society v. 1662 (lisää alla)
- Berliini: Societas Regia Scientiarum
- Bologna: Istituto delle Scienze
- Suomi:  
<https://journal.fi/tt/article/view/2419/2249>

### Royal Society

- The Invisible College – ajatus tiedeyhteisöstä - n. v. 1645 Gresham College
- 28.11.1660 ”luonnontieteiden vallankumoksen alkupäivä”
- Jälki-istunnosta tuli Royal Societyn perustamiskokous
- Kuningas Kaarle II hyväksyi v. 1662.
- Royal Societyn ensimmäinen historiikki v. 1667
- Laati piispa Thomas Spratt perustajajäsenten Sir Robert Morayn ja John Wilkinsin valvonnassa
- Kansikuva: oikealla v. 1626 kuollut Sir Francis Bacon, jonka edessä lukee ”Inspiraation lähde Societylle”

### 5.4 Isaac Newton (1642 – 1727)

”Luonto ja luonnonlait olivat piilossa yössä.  
 Jumala sanoi: Tulkoon Newton! ja valo tuli.”  
 - Alexander Pope

”Se ei kestänytkään, huus Piru: Hoo!  
 Tulkoon Einstein! Palas *status quo*.”  
 - Hilaire Belloc vastauksena Alexander Popelle

1600-luvun ylle kohoaa Isaac Newtonin majesteettinen hahmo. Liioittelematta voidaan sanoa, että Newton (1642 – 1727) kuuluu merkittävimpiin ihmisiin, mitä koskaan on elänyt. Hän on innoittanut tiedemiehiä ja filosofejia, runoilijoita ja taiteilijoita. Olimmepa asiasta tietoisia tai emme, hänen ajatuksensa ovat muovanneet perustan käsityksillemme itsestämme ja maailmasta jossa elämme. Paljon siitä, mitä nykyajan ihmiset pitävät selviönä ja luonnollisena, ei ole kumpakaan, vaan Newtonin suurisuuntaisen näkemyksen heijastusta.

Newton syntyi onnekkaasti ajankohtana, jolloin suuren palapelin kappaleet olivat valmistuneet. Kokoamistyö on kuitenkin hänen ansiotaan ja tuloksena oli hämmästyttävän täydellinen maailmankuva. Ihmiskunnalle lienee annettava anteeksi, että sen terävimmät ajattelijat yli kolmensadan vuoden ajan sekoittivat tämän kuvan todellisuuteen itseensä.”

(Gerholm & Magnusson 1983, 287 – 288.)

”Olen nähnyt kauemmaksi kuin Descartes sen vuoksi, että olen seisonut jättiläisten olkapäillä.”

Nämä jättiläiset olivat Tyko Brahe, Kepler ja Galilei sekä antiikin filosofit, ennen kaikkea Eukleides ja Arkhimedes.

*Isaac Newton (1642–1727)*

englantilainen luonnonfilosofi, matemaatikko, Royal Societyn puheenjohtaja, Cambridgen Lucas-professori, yliopistonsa edustaja Ison-Britannian parlamentissa ja alkemisti.

tunnetuimmat saavutukset: differentiaalilaskenta, dynamiikan liikelakien ja yleistä painovoimalakia koskevien teorioiden sekä optiikan kehittäminen.

vaikutusvaltaisimmat teokset:

vuonna 1687 julkaistu *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ("Principia", Luonnonfilosofian matemaattiset perusteet),

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.

Newton kirjautui Cambridgen yliopiston Trinity Collegeen vuonna 1661.

Vuosia 1664–1666 on pidetty hänen työnsä "ihmeiden vuosina" (lat. anni mirabiles) - noina vuosina Newtonin itseopiskeluun perustuneet matemaattiset ja luonnonfilosofiset tutkimukset alkoivat toden teolla kantaa hedelmää.

Hänen läpimurtonsa differentiaalilaskennan, dynamiikan ja optiikan aloilla kulminoituvat näihin vuosiin.

Vuonna 1669, 27 vuoden ikäisenä, hänet valittiin matematiikassa Cambridgen Lucas-professoriksi, joka on edelleen akateemisen maailman arvostetuimpia virkoja.

*Principia* ilmestyi ensimmäistä kertaa latinaksi vuonna 1687.

Teoksesta otettiin n. 300 painosta.

Kaikki eivät olleet vakuuttuneita *Principian* keskeisistä argumenteista, etenkin yleistä painovoimalakia koskevasta argumentista.

Newton muokkasi teostaan radikaalisti, ja julkaisi toisen ja kolmannen painoksen vuosina 1713 ja 1726.

Näihin Newton lisäsi loppuun yleisen selittävän osan ("General Scholium"), jossa hänen kuuluisa "En tee hypoteeseja" (lat. hypotheses non fingo) iskulauseensa esiintyy.

Pääosin valon käyttäytymistä käsittelevän Optiikan 1. painos julkaistiin englanniksi vuonna 1704. Sitä seurasi latinankielinen versio v. 1706 ja 2. engl. painos 1717.

sisältää myös kuuluisaksi tulleen "Kysymyksiä" ("Queries") osion, jossa



Newton muotoilee alustavia ongelmia, joita luonnontutkimus hänen jälkeensä voisi pyrkiä ratkaisemaan.

1700-luvun alusta lähtien Newton työskenteli Englannin rahapaja Royal Mintin johtajana ja osallistui Englannin parlamentin istuntoihin yliopistonsa edustajana.

Hän kuoli 84 vuoden ikäisenä 20. marraskuuta vuonna 1727.

Hänellä ei ollut lapsia tai puolisoa.

(Ks. tarkemmin LOGOS-ensyklopedia.)

---

## **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).

---

Myös eroja näiden kahden näkemyksen välillä on runsaasti:

<b>Descartesin ja Newtonin fysiikan periaatteiden erot</b>	
<u>Descartes</u>	<u>Newton</u>
<u>Tyhjiötä ei ole olemassa.</u>	Tyhjiö on olemassa.
Aurinkokunta on materiaalikiekkö, 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 törmäysliikkeen tuloksiin.	Kappaleiden massa ja nopeus (mutta ei tilavuus) vaikuttavat törmäysliikkeen tuloksiin.
Kappaleiden paino on kaikkialla olevien pienten pallomaisten materiaalien osien aiheuttama paineilmio.	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.

Taulukkojen lähde: LOGOS-ensyklopedia.

Lisäksi Newtonin ja Descartesin matemaattisessa metodologiassa perustava eroavaisuus:

Newton perusteli kaiken perinteisellä euklidisella geometrialla, ja alkuperäinen *Principia* poikkeaa paljon nykyään tunnetusta Newtonin mekaniikan algebrallisesta esitystavasta.

Tosin tähtitieteellisissä kirjoituksissaan hän turvautuu myös uudenaikaisempiin tekniikoihin, erityisesti logaritmilaskentaan.

Descartes sen sijaan oli kiinnostunut aikanaan melko uusista algebrallisista menetelmistä ja suhtautui euklidiseen geometriaan halveksuvasti.

*Johdattelua newtonilaisen fysiikan maailmankuvaan*

Newtonin kolme peruskäsitettä: aika, paikka ja aine, joilla aikaisemmin oli melko toissijainen asema, mutta jotka Newton kohotti esille, tarkensi ja asetti keskeiselle sijalle.

*Principia*-teoksen johdannossa hän määrittelee *absoluuttisen ajan*:

“Absoluuttinen, tosi ja matemaattinen aika virtaa itsestään ja luonnostaan tasaisen nopeasti, mistään ulkopuolisista tekijöistä riippumatta.”

Newton käsittää *absoluuttisen paikan* äärettömän suureksi säiliöksi, joka sisältää aineellisen maailman ilmiöt:

"Absoluuttinen paikka pysyy luonteensa mukaisesti ja kaikista ulkopuolisista tekijöistä riippumatta aina samana ja liikkumattomana."

Ajalla ja paikalla on kummallakin oma tehtävänsä: "Kaikki tapahtumat on järjestetty ajassa peräkkäisiksi ja paikassa sijaintinsa mukaan."

Aine: Newton yhdistää Keplerin tähtitieteen Galilein dynamiikkaan yhdellä ainoalla nerokkaalla oivalluksella: erottamalla toisistaan kappaleen painon ja gravitaation käsitteet.

### Gravitaatiolaki

Nämä peruskäsitteet liitetään yhteen Newtonin mekaniikan kolmella lailla:

1. Kappale, johon eivät vaikuta ulkopuoliset voimat, liikkuu vakionopeudella suoraviivaista rataa.
2. Voima, jolla kappale vastustaa nopeuden muutosta, on suoraan verrannollinen massaansa ja kiihtyvyyteen.
3. Jokaista voimaa vastaa yhtä suuri, suunnaltaan vastakkainen voima.

Näihin lakeihin sisältyy monia ongelmia. Mikäli ne tuntuvat meistä itsestään selviltä, se johtuu siitä, että olemme tottuneet Newtonin maailmankuvaan emmekä pysty helposti kuvittelemaan muuta. Yleisessä suhteellisuusteoriassa ei kuitenkaan yksikään näistä laeista ole voimassa – ei edes Newtonin yleinen gravitaatiolaki – ei ainakaan sellaisina, jollaisiksi Newton ne tarkoitti, eli matemaattisen eksakteina lakeina.

### *Principian "esihistorialliset" kerrostumat*

*Principiassa* käsiteltyjen teorioiden alla olevien kerrostumien kaiveleminen vaatisi teokseen johtaneen yleisen tiedehistoriallisen taustan selvittelyä. Ymmärrettävistä syistä en selvittelyyn ryhdy. Esittelen kuitenkin ne 1600-luvun matemaattisen luonnontieteen pääteemat, joiden pohjalta *Principia* nousee.

Newtonin *Principia*-teos merkitsee tieteen historian käännekohtaa. Toisaalta se merkitsee Kopernikuksen *De Revolutionibus* -teoksen julkaisemisesta v. 1543 alkaneen vaiheen päätöstä, toisaalta valistusajan tieteen alkua. Edellistä vaihetta kutsutaan usein "tieteen suureksi vallankumoukseksi"; sen teeman antoi suuressa määrin tähtitiede. Kauden keskeisiä matemaattis-fysikaalisia keksintöjä ja sellaisiin vaikuttaneita kehitelmiä olivat seuraavat:

- Nikolaus Kopernikuksen esittämä aurinkokeskinen järjestelmä.
- Johannes Keplerin esittämät planeettaliikkeen lait:

"Nollas laki": Planeettojen radat ovat tasokäyriä, planeettojen ratatasot pysyvät samoina ja kulkevat Auringon kautta. Ensimmäinen laki (Ellipsilaki): Planeettojen radat ovat ellipsejä, joiden toisessa polttopisteessä Aurinko sijaitsee. Toinen laki (pintalaki): Auringosta planeettaan piirretty jana piirtää aikaan suoraan verrannollisen pinta-alan. Kolmas laki (3/2-laki): Jos  $T_1$ ,  $T_2$  ovat kahden planeetan kiertoaajat ja  $R_1$ ,  $R_2$  samojen planeettojen keskietäisyydet Auringosta eli niiden rataellipsien isoakseleiden puolikkaat, niin pätee

$$T_1^2 / T_2^2 = R_1^3 / R_2^3 \quad (1)$$

- Galileo Galilein tutkima maanpäällisten kappaleiden putoamisliikkeen ja yleisemmin heittoliikkeen teoria. Tämän mukaan putoaa kappale painovoiman alaisena siten, että sen nopeus kasvaa suoraan verrannollisena aikaan ja sen kulkema matka kasvaa verrannollisena ajan neliöön. Nykyisiä merkintöjä ja käsitteitä käyttäen:

$$v=gt, s=1/2gt^2, \quad (2)$$

missä  $g$  on gravitaatiokiihtyvyyden pinnalla.

- Keplerin teosten ilmestymisen jälkeen tehtiin 1600-luvulla lukuisia yrityksiä planeettaliikkeen empiiristen lakien selittämiseksi joidenkin hyväksyttävien fysikaalisten lakien seurauksena. Useat näistä selityksistä hylkäsivät pintalain ja korvasivat sen jollain toisentyyppisellä saman asian approksimatiivisesti ajavalla lailla.

- René Descartes esitti kosmologian ja fysiikan, jotka selittivät fysikaaliset luonnonilmiöt ymmärrettäväksi koetulla vain mekaanisiin liike- ja törmäystapahtumiin vetoavalla tavalla. Hän mm. esitti inertialain suunnilleen nykyisessä muodossaan ja rakensi pyörreteorian nimellä tunnetun teorian, joka kvalitatiivisella tasolla selitti planeettaliikkeen ilmiöt. Matemaattikkona Descartes kehitti algebrallista symboliikkaa ja jatkoi Pierre de Fermat'n alullepanemaa "geometrian algebrainsin" ohjelmaa, jonka mukaan geometrisia kuvioita ja relaatioita tutkittiin palauttamalla ne algebrallisiksi yhtälöiksi.

- Englannissa nousi moninaisista impulsseista lähtevä kokeellisen tieteen harrastus, jolla monissa tapauksissa oli kontakteja silloisiin käytännön probleemoihin tai jonka harrastajat ainakin spekuloidivat erilaisilla, joskus varsin fantastisilla, sovellutusmahdollisuuksilla. Harrastus johti Royal Societyn eli Kuninkaallisen tiedeseuran perustamiseen; seura sai kuninkaan vahvistamat sääntönsä vuonna 1662.

- Tiedeseuran useiden jäsenten harrastuksen kohteena oli planeettaliikkeen teoria. Yksi seuran perustajajäsenistä, Christopher Wren nimitettiin Gresham Collegien astronomian professorin virkaan vuonna 1657. Virkaanastujaisesityksessään hän mm. kertoi Keplerin empiirisesti löytämistä planeettaliikkeen laeista ja arvioi oman aikansa suuren fysikaalisen probleeman olevan näiden lakien selittämisen fysiikan lakien seurauksiksi. Hän esitti ennustuksen, että mies, joka on selityksen antava, on jo syntynyt. - Tämä profeetallinen ennustus tehtiin täsmälleen 30 vuotta ennen *Principian* ilmestymistä; Newton oli tuolloin 15 vuoden ikäinen.

- Christopher Wren ja varsinkin hänen jälkeensä Robert Hooke suorittivat kokeita eri tavoin heiluvilla heilureilla, myös toisiinsa yhdistetyillä heilureilla. Näiden avulla he halusivat valaista dynaamisia lakeja, joiden he arvelivat vallitsevan myös planeettaliikkeessä. Näihin kokeisiin vedoten Hooke esitti kiertoliikettä koskevan hypoteesin: kaikki jonkin keskuksen ympäri tapahtuva kiertoliike, siis myös planeettaliike, tapahtuu siten, että keskusta kohti suuntautuva "attraktiivinen voima" saa kappaleen putoamaan inertialiikkeen mukaiselta suoraviivaiselta radaltaan kohti keskusta. Hooke vakuutti esitelmissään ja kirjoituksissaan, että tämän periaatteen avulla voi kaikki planeettaliikkeen ilmiöt selittää. Hän itse ei kyennyt

näkemyksiään konkretisoimaan, vaan ne jäivät kvalitatiivisen spekulatiivisen tasolle.

### *Isaac Newton ja Principia*

Newton toimi Cambridgessa professorina, kun hän vuosina 1684-1687 kirjoitti *Principia-teoksensa*. Teos käsittää kolme kirjaa, joiden otsikot ja aiheet ovat seuraavat:

Kirja I: Kappaleiden liikkeestä (*De Motu Corporum*). Kirja alkaa erällä mekaniikan aksioomeilla ja määritelmillä. Sen varsinainen sisältö käsittää yleisen partikkelidynamiikan ja keskeisvoimien teorian matemaattisen esityksen, jolloin päähuomio kiinnitetään etäisyyden neliöön kääntäen verannolliseen voimaan ja sen alaisena tapahtuvaan liikkeeseen.

Kirja II: Kappaleiden liikkeestä vastustavassa väliaineessa. Kirja sisältää lukuisia mitä mielenkiintoisimpia kehitelmiä, mutta *Principian* kosmologisia pääteemoja ajatellen se kuitenkin on syrjähyppy. Tässä esityksessä en tuohon kirjaan puutu.

Kirja III: Maailmansysteemistä (*De Mundi Systemate*). Kirjan teemana on osoittaa, että kirjassa I esitetty matemaattinen teoria on maailman fysikaalisen rakenteen ja maailmassa todella vaikuttavien voimien oikea teoria. Tätä perustellaan taivaankappaleiden havaituilla liikkeillä, mukaan luettuina Maa ja gravitaation Maan pinnalla aiheuttamat ilmiöt.

Tämänkertaisessa esityksessämme keskitymme *Principian* ensimmäisessä kirjassa esitettyyn matemaattiseen dynamiikkaan. Ensimmäisen kirjan historia päättyy sen valmistumiseen keväällä 1686. *Principia-teoksesta* ilmestyi Newtonin elinaikana kaksi uutta laitosta, joista varsinkin toiseen laitokseen Newton teki osittain huomattavia muutoksia. Nämä muutokset eivät koske ensimmäistä kirjaa, vaan siihen tulleet pienehköt muutokset ovat esitysteknisiä paranteluja ja suoranaisten pikku virheiden korjailua. Kirjan III historia sen sijaan jatkui uusilla "geologisilla kerrostumilla".

### *Newton matemaattisen dynamiikan tutkijana*

Isaac Newton tutki matemaattista dynamiikkaa intensiivisesti muutama suhteellisen lyhyenä pitkän elämänsä jaksona. *Principian* ensimmäiseen kirjaan johtanut työ voidaan jakaa kolmeen jaksoon:

1. Varhaiset 1660-luvulla suoritettut tutkimukset.
2. Robert Hooken kanssa käydyn kirjeenvaihdon aiheuttamat tutkimukset talvella 1679-1680.
3. *Principian* dynamiikka-osan kirjoittaminen syksystä 1684 kevääseen 1686.

[Tarkastelemme näitä jaksoja.]

1. Varhaisimmat jo opiskeluaikana kirjoitetut Newtonin dynamiikkaa käsittelevät käsikirjoitukset käsittelevät mm. kappaleiden törmäystä, jäykän kappaleen liikettä ym. kysymyksiä. Näiden käsikirjoitusten varsin primitiivinen käsitteistö valaisee 1600-luvun mekaniikan aikaisempaa historiaa. *Principia*-teoksen kannalta merkittävin Newtonin varhainen käsikirjoitus oli lyhyt tutkielma ympyräliikkeestä. Kirjoituksessa käytetään dynaamisena peruskäsitteenä

keskipakoisvoimaa, jota Newton tuolloin piti ympyräliikkeen kappaleessa synnyttämänä pyrkimyksenä pois päin keskuksesta. Newton johtaa tuloksen, jonka nykyisin termein voimme formuloida seuraavasti: Jos kappale kiertää nopeudella  $v$   $r$  -säteisellä ympyrällä, niin liiketila synnyttää siinä keskipakoisvoiman, joka on verrannollinen lausekkeeseen  $v^2/r$ . Newton soveltaa tätä kahteen tähtitieteelliseen probleemaan. Hän lähtee ajatuksesta, että kun jokin taivaankappale suorittaa tarkoin tai likimain tasaista ympyräliikettä, siinä täytyy asua jokin "pyrkimys" tai siihen täytyy vaikuttaa jokin voima, joka pitää keskipakoisvoiman tasapainossa. Tämän perusteella Newton laskee, millaisessa suhteessa Kuun kiertoliikkeen aiheuttama keskipakopyrkimys on maanpäälliseen gravitaatioon, ja saa tuloksen, että gravitaatio on yli 4000 kertaa voimakkaampi. Seuraavaksi hän olettaa, että planeettojen kierto Auringon ympäri on osoitus samanlaisesta keskipakoisvoimaa tasapainottavasta pyrkimyksestä, ja osoittaa, että keskipakoisvoiman lausekkeen ja Keplerin kolmannen lain seurauksena tuon pyrkimyksen täytyy pienentyä kääntäen verrannollisena etäisyyden neliöön. Newton itse formuloi nämä tulokset pelkästään keskipakoisvoimaa käyttäen. Hän ei eksplisiittisesti mainitse mistään tasapainottavasta pyrkimyksestä, mutta täytynee olettaa, että jokin tällainen ajatus on ollut hänen mielessään.

Verratessaan Kuun keskipakoisvoimaa maanpinnalla vallitsevaan gravitaatioon on Newtonilla ollut mielessään ajatus, että Kuun keskipakoisvoiman tasapainottuminen on osoitus siitä, että sama "pyrkimys" tai voima, joka saa kappaleet putoamaan Maan pinnalla, saa myös Kuun pysymään Maata ympäröivällä kiertoradallaan. [...] (Lehti 1988, 46 - 49.)

### *Maailmansysteemin esitys Principiassa*

#### *Newtonin ohjelma Principia-teoksessa*

Newton kirjoittaa *Principian* ensimmäisen painoksen alkulauseessa mm. seuraavaa:

*...Sen tähden minä tarjoan tämän teoksen filosofian matemaattisiksi prinssiipeiksi, koska filosofian koko tehtävä näyttää olevan tämä: ilmenevistä liikkeistä tutkia luonnon voimia ja sitten näihin voimiin vedoten osoittaa muut ilmiöt, ja tätä päämäärää varten on ensimmäisen ja toisen kirjan lauseet tarkoitettu. Kolmannessa kirjassa minä annan tästä esimerkin selittämällä Maailmansysteemin. Aikaisemmissa kirjoissa matemaattisesti todistettujen lauseiden avulla minä nimittäin johdan kolmannessa kirjassa gravitaatiovoiman, jonka mukaisesti kappaleet suuntautuvat kohti Aurinkoa ja eri planeettoja. Sen jälkeen, käyttäen toisia samaten matemaattisia lauseita, minä johdan näistä voimista planeettojen, komeettojen, Kuun ja meren liikkeet.*

Edellä esitetty valaisee sitä, miten Newton toteutti alkulauseessa lupaamansa ohjelman. Hänen "virallisen" metodinsa lähtökohtana oli ajatus, että taivaankappaleiden liikkeitä koskevista havainnoista on mahdollista valita muutamia sellaisia, joiden tulkinta ei ole olemassa-olevista planeettaliikkeen teorioista riippuvainen ja jotka todistavat

oikeaksi hänen teoriansa. Kohtuullisen välittömästi havaintojen avulla johdettavissa oleviksi totuuksiksi Newton valitsee pintalain ja  $3/2$ -lain, ja tämä asettaa *Principian* neljä ensimmäistä lausetta koko rakennelmaa kannattavaksi metodiseksi fundamentiksi. Näiden lakien voimassaoloa koskevat havainnot Newton hyväksyy niin varmoiksi, että ne kelpaavat hänen teoriansa epäamättömiksi postulaateiksi. Kaikki loppu on tämän virallisen metodiikan mukaan deduktiota näistä vastaansanomattomasti perustelluista postulaateista. Niinpä  $1/r^2$ -laki on tosi sellaisessa ehdottomassa mielessä mitä mikään mahdollinen kartesiolainen tai muu kritiikki ei pysty horjuttamaan.

Konstruoimansa metodiopin johdonmukaisena seurauksena Newton ei pidä Keplerin ellipsilakia sellaisena havaintojen varmistamana tuloksena, johon voisi vastaavalla tavalla vedota teorian perusoletusten induktiivisena todistuksena. Vetovoimalain Newton katsoo johtaneensa yksinomaan pintaalaista ja  $3/2$ -laista, ja ellipsirataa koskevat tulokset vuorostaan ovat deduktiivisia seurauksia vetovoimalaista. Seurauksena tästä asenteesta Newton ei tunnusta ellipsilakia Keplerin ansioksi eikä *Principiassa* milloinkaan mainitse Keplerin nimeä sen yhteydessä. Planeettojen ellipsiradan oikeaa keksimistä Newton pitää omana ansionaan. Hänen mukaansa Kepler oli vain arvannut, että radat olivat ellipsejä, mutta ei ollut perustellut arvaustaan oikeaksi.

Vaikka emme Newtonin problemaattisiin metodisiin näkemyksiin puuttuisikaan, on Newtonin arviota Keplerin osuudesta vähintäänkin pidettävä tapahtumien historiallista kulkua huonosti vastaavana. Newtonin aikalaiset eivät ainakaan yleisesti arvioon yhtyneetkään. Kun *Principian* ensimmäinen kirja esiteltiin huhtikuussa 1686 Royal Societylle, sitä luonnehdittiin teokseksi, jossa annetaan matemaattinen todistus kopernikaaniselle hypoteesille Keplerin esittämässä muodossa. Jopa sellainenkin Newtonin varaukseton ihailija kuin Edmond Halley kertoi *Principiasta* kirjoittamassaan esittelyssä, että Newtonin tulokset "yhtyvät Taivaallisten Liikkeiden ilmiöihin sellaisina kuin ne on Kepler suurella terävyydellä ja aherruksella keksinyt".

#### *Newtonin induktiivinen metodisääntö*

Metodiikkansa perusteluksi Newton liittää *Principian* toisessa painoksessa Maailmansysteemin alkuun mm. seuraavan metodisäännön:

*Sääntö IV. Eksperimentaalisisessa filosofiassa meidän tulee pitää ilmiöistä yleisen induktion avulla pääteltyjä lauseita tarkasti tai hyvin tarkoin tosina, välittämättä mistään kuviteltavissa olevista päinvastaisista hypoteeseista, niin kauan, kunnes tavataan toisia ilmiöitä, joiden avulla [havainnoista päätellyt lauseet] joko voidaan täsmentää tarkemmiksi, tai [todetaan, että niistä] esiintyy poikkeuksia. Tätä sääntöä meidän tulee seurata, jotta induktion argumenttia ei väistetä hypoteeseja asettamalla.*

Newtonin oman tosiasiallisen menettelyn valossa on hänen formuloimansa ja "virallisesti" soveltamansa tieteen induktiivinen

metodioppi monimutkaisen matemaattis-fysikaalisen oppirakennelman rakentamiseen huonosti soveltuva konstruktio. Tässä ei ole aihetta ryhtyä laajemmin selostamaan Newtonin eksplisiittisesti formuloimia metodiopillisia näkemyksiä eikä varsinkaan niiden moninaisia vaikutuksia myöhempään tieteenfilosofiaan. Valaisemme vain asiaa kahdella Newtonin konkreettisiin esimerkkeihin välittömästi liittyvällä toteamuksella.

Newtonin "havaintotodistukset" pinalaille ja  $3/2$ -laille ovat eräässä mielessä "liian hyviä". Nehän "todistavat", että niissä mainitut taivaankappaleet liikkuvat  $1/r^2$ -keskeisvoiman alaisina ja toteuttavat Keplerin formuloimat planeettaliikkeen lait. Kuitenkin Newton itse päätyy ennen pitkää *Principiassa* tulokseen, että taivaankappaleet eivät suinkaan liiku kukin vain itseensä vaikuttavan keskeisvoiman alaisena, vaan ne vetävät kaikki toinen toisiaan puoleensa. Niinpä sekä pinalaki että  $1/r^2$ -laki toteutuvat vain approksimatiivisesti, ja gravitaatioteorian varsinaiseksi kriteeriksi muodostuvatkin taivaankappaleiden liikkeiden häiriöt eli poikkeamat Keplerin laeista.

(Lehti 1988, 209 - 211.)

### "Yleinen skoolio"

*Tähän päästyämme olemme selittäneet taivaan ja oman meremme ilmiöt gravitaation voiman avulla, mutta vielä emme ole ehdottaneet tuolle voimalle mitään syytä. Sen verran on varmaa, että [gravitaation] aiheuttajan tulee asustaa itsessään Auringon ja planeettojen keskuksessa, eikä tämä kuitenkaan sen voimaa vähääkään estä. [Gravitaatio] ei operoi suhteessa niiden partikkelien pinnan mittaan, joihin se vaikuttaa (kuten mekaanisten vaikuttajien on tapana tehdä), vaan suhteessa [partikkelien] sisältämän kiinteän materian määrään, ja [gravitaation] voima levittäytyy joka suuntaan valtaviin etäisyyksiin heikentyen aina etäisyyden neliön käänteisessä suhteessa. Aurinkoon suuntautuva gravitaatio koostuu gravitaatiosta kohti lukuisia partikkeleita, joista Aurinko koostuu. Etäännyttäessä Auringosta [gravitaatio] heikkenee Saturnuksen radalle asti tarkalleen käänteisessä suhteessa etäisyyden neliöön, kuten selvästi ilmenee planeettojen aphelien paikallaan pysymisestä, ja totisesti jopa komeettojenkin etäisimpien aphelien, mikäli myös nuo aphelit pysyvät paikallaan. Tähän mennessä en kuitenkaan ole ilmiöiden perusteella pystynyt keksimään gravitaation mainittujen ominaisuuksien aiheuttajaa, ja hypoteeseja en sepittele. Kaikkea, mitä ei ole päätelty ilmiöiden perusteella, tulee nimittäin kutsua hypoteesiksi, ja hypoteeseilla ei ole mitään sijaa eksperimentaalissa filosofiassa, olivatpa ne sitten metafyyysisiä tai fysikaalisia, koskivatpa ne sitten okkultteja tai mekaanisia kvaliteetteja. Tässä filosofiassa*



*johdetaan ilmiöistä yksittäisiä lauseita, ja jälkeensä ne yleistetään induktion avulla. Näin on keksitty kappaleiden läpätunkemattomuus, liikkumiskyky ja impulssivoima sekä liikkeen ja gravitaation lait. Ja meille riittää, että gravitaatio on todella olemassa ja se vaikuttaa meidän selostamiemme lakien mukaisesti, ja se on riittävä antamaan täydellisen selityksen kaikkien taivaankappaleiden ja meidän oman meremme liikkeille.*

Newton jatkaa arvailemalla, miten gravitaation kaltainen partikkelien välinen vetovoima saattaisi antaa selityksen monille muillekin luonnonilmiöille.

Newtonin keskittyminen kerran esittämiensä teorioiden puolustamiseen ja oikeaksi todistamiseen antaa *Principian* toiselle painokselle kummallisen seisahtuneen ja taaksepäin katsovan leiman. Kirjoittaessaan *Principian* ensimmäistä laitosta Newton oli kuin voitokasta armeijaa huimassa etenemisessä johtava sotapäällikkö. Matemaattisen luonnontieteen historiasta lieneekin vaikea löytää toista tapausta, jolloin fyysisen maailmankuvan ymmärtämisen ja tiedon kasvun tiellä olisi eteneminen ollut niin nopeaa ja pitkälle vievää kuin *Principian* kirjoittamisen vuosina 1684-1687. *Principian* ensimmäinen painos tuo mieleen innoittunutta kenraaliaan pikamarssissa seuraavan armeijan.

*Principian* toinen painos sen sijaan herättää mielikuvan samasta armeijasta pysähtyneenä, linnaleiriin varustautuneena ja vihollisten hyökkäyksiä varten ympärilleen muureja rakentavana.

(Lehti 1988, 226 - 227.)

### *Newton ja alkemia*

Ahonen, Kathleen W., "Tuntematon Newton – mitä Newton etsi 30 vuoden ajan alkemiasta?", teoksessa Lehti, Markkanen ja Rydman 1988, 74 – 84.

Jauho, Pekka, "Newton, radikaali tiedemies ja oman aikansa vanki", teoksessa Lehti, Markkanen ja Rydman 1988, 330 – 341.

1800-luvun puolivälissä Newtonin elämäkertaa kirjoittanut Sir David Brewster reagoi Newtonin alkemististen käsikirjoitusten löytymiseen kauhunsekaisella epäuskolla: "En voi ymmärtää kuinka nero, jonka ajatusmaailman täyttivät jalot geometrian abstraktiot ja materian salaisuuksien selvittely, voisi sortua edes kopioimaan mitä halveksittavinta alkemistista runoutta ...".

Kiistattomat tosiasiat osoittavat, että Newton oli syvästi kiinnostunut alkemiasta: hän luki laajalti, hän sekä kopioi että kirjoitti teoksia, teki suunnattoman määrän muistiinpanoja ja kokeita ja jopa luuli osittain onnistuneensa Suuressa Alkemian Työssä.

Viimeisimmän arvion mukaan Newton kirjoitti alkemiasta runsaasti yli miljoona sanaa, joka vastaa 4000-5000 nykyaikaista konekirjoitettua sivua. Tähän määrään sisältyvät kaikki hänen kirjoituksensa:

- käsikirjoitukset, joita hän sai salaisen/ maan alla toimivan veljeskunnan kautta ja jotka hän kopioi käsin omaan käyttöönsä,
- runsaat reunahuomautukset, joita hän kirjoitti lukemiinsa kirjoihin, teokset ja yhteenvedot, jotka hän kirjoitti itse,
- hakemistot, jotka hän keräsi urhoollisessa yrityksessään avata
- alkemistien arvoituksia luokitteluilla ja ristiinviittauksilla ja
- muistiinpanot, jotka hän teki omassa laboratoriossaan suorittamistaan kokeista.

*Index chemicas*, kemiallinen hakemisto, jolla hän yritti jäsentää lukemansa laajan alkemistisen kirjallisuuden, oli työn alla yli kymmenen vuotta 1680-luvulta alkaen. Kun ensimmäinen hakemisto tuli liian laajaksi ja hankalakäyttöiseksi, hän aloitti uuden ja taas uuden. Lopulta siinä oli yli 100 tiiviisti kirjoitettua sivua ja 5000 viittausta yli 150 teokseen. Eivätkä hänen referoimansa kirjoittajat ole suinkaan hänen aikalaisiaan Paracelsuksen koulukuntalaisia, jotka ainakin kirjoittivat puoleksi ymmärrettävällä tavalla. Ei, Newton luotti kirjoittajista vaikeaselkoisimpiin: ...

Newtonin aktiivinen kiinnostus alkemiaan kesti lähes 30 vuotta, hänen parhaat miehuusvuotensa. Tultuaan 26-vuotiaana vuonna 1669 nimitetyksi Cambridgen yliopiston matematiikan professoriksi Newton teki ensi töikseen matkan Lontooseen, josta hän osti kemikaaleja, kaksi uunia, lasiastioita ja alkemian alan perusteoksen: massiivisen, kuusiosaisen *Theatrum Chemicumin*.

Sitten hän aloitti uurastuksen. Eikä hän ainoastaan luenut ja kirjoittanut, vaan suoritti myös käytännön kokeita. Hän rakensi laboratorion Trinity Collegen asuntonsa sisäpihalle ja suoritti siellä pitkiä, huolellisesti suunniteltuja koesarjoja yli 20 vuoden ajan.

(Ahonen 1988, 75-77.)

Itse asiassa on mahdollista, että Newton myös alkemiassa pyrki toteuttamaan kuningasajatustaan yksinkertaisesta ja yhtenäisestä periaatteesta ja sen varaan rakennetusta kaiken kattavasta teoriasta, joka ilmentää Jumalan läsnäoloa aineiden kemiallisessa käyttäytymisessä. Hän oli hyvin tietoinen atomihypoteesista, kuten seuraava sitaatti osoittaa: ”Hylätessämme sellaisen väliaineen (eetterin) olemassaolon me voimme tukeutua vanhimpien kreikkalaisten ja foinikialaisten filosofien auktoriteettiin, nämä tekivät atomit ja atomien välisen vetovoiman filosofiansa perusperiaatteeksi; täten he vaieten olettivat vetovoiman johtuvan muusta kuin aineesta.”

Valitettavasti kemiallisen kokeellisen tiedon taso ei Newtonin aikana ollut riittävä oikeiden johtopäätösten tekemiselle, ajatteluhan perustui edelleen neljän alkuaineen varaan. Kokeellista materiaalia oli kyllä olemassa valtava määrä, varsinkin metallurgiassa, mutta se oli järjestäytymätöntä ja vaikeasti hyväksikäytävissä olevaa perimätietoa. Niinpä Newton nosti vanhat auktoriteetit Raamatun kaltaiseen luotettavan tiedon asemaan. Hän oli viimeinen maagikko, viimeinen babylonialainen ja sumerilainen, joka näki

näkyvän ja intellektuaalisen maailman samoilla silmillä kuin ne, jotka alkoivat rakentaa henkistä perintöämme 10 000 vuotta sitten. John Maynard Keynesin sanoja käyttäkseni hän oli maagikko, koska:

”Hän piti maailmankaikkeutta ja kaikkea, mitä siinä oli, arvoituksena ja salaisuutena, joka voitiin ratkaista soveltamalla puhdasta ajattelua määrättyihin tosiasioihin, määrättyihin vihjeisiin, jotka Jumala oli kätkenyt eri puolille maailmaa salliakseen erään laatuisen filosofisen aarteen metsästyksen valikoidulle veljeskunnalle. Hän uskoi, että nämä vihjeet olivat löydettävissä osittain taivaan ilmiöissä ja alkuaineiden rakenteessa, osittain myös määrättyissä kirjoituksissa ja traditioissa, jotka oli annettu salatussa muodossa babylonialaisille veljille. Hän piti maailmankaikkeutta arvoituksena, jonka Jumala oli laatinut vähän samaan tapaan kuin hän itse oli salannut differentiaali- ja integraalilaskennan keksimisensä kirjeessään Leibnizille.”

Voidaan siis olettaa, että Newton laajoilla, omaa terveyttäänkin uhanneilla kokeilla pyrki löytämään todellisen viisasten kiven, jolla metallien transmutaatio voitaisiin aikaansaada. Tämä universaalinen viisasten kivi samalla edustaisi sitä yhtenäistä teoreettista perustaa, jolle kemia voitaisiin rakentaa!

Tämän kautta aineiden käyttäytymisen valtava moninaisuus voitaisiin palauttaa sisäisesti ristiriidattomaan matemaattiseen teoriaan. Itsestäänkin on selvää, että tämän laatuisen ohjelman toteuttaminen 1600-luvun kokeelliselta kemialliselta pohjalta oli täysin mahdotonta.

(Jauho 1988, 339.)

*Newtonilaisuus filosofisena ja aatehistoriallisena ilmiönä*

Ks. tarkemmin (kaikki teoksessa Lehti, Markkanen ja Rydman 1988):

Niiniluoto, Ilkka, ”Tieteellisen tradition nousu ja tuho”, 297 – 312.

Markkanen, Tapio, ”Tieteen eturintamaan – newtonilainen tähtitiede ja Suomi”, 250 – 260.

Leikola, Anto, ”Newtonin fysiikan tulo Suomeen”, 321 – 329.

Jauho, Pekka, ”Newton, radikaali tiedemies ja oman aikansa vanki”, 330-341.

### 5.5 Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716)

*Monadologia*, julkaistu suomeksi v. 1995, (Gaudeamus, Helsinki).

- *characteristica universalis*: tieteellinen ideaalikieli
- *calculus ratiocinator*: ideaalikieli ”päätelykalkyylina”, jonka määrittelemät säännöt tekisivät mahdolliseksi erimielisyyksien ratkaisemisen pelkällä laskemisella.

#### *Newtonin ja Leibnizin kiista differentiaali- ja integraalilaskennan keksimisestä*

Trinity College oli ruton takia suljettuna suurimman osan vuosia 1665-1666. Newton meni kotiin ja ajatteli. Tulos oli matematiikan historian hedelmällisin tunnettu kausi... seuraavan kymmenen vuoden aikana hän kirjoitti ainakin kolme merkittävää uuden analyysin kuvausta.

Näinä kuukausina Newton teki neljä suurinta keksintöään:

1. binomilauseen,
2. differentiaali- ja integraalilaskennan,
3. gravitaatiolain ja
4. värien luonteen.

#### *Fluksiomenetelmä*

Tiedetään hyvin, että suosituimmassa infinitesimaalisen menetelmän esityksessään Newton piti suureita  $x$  ja  $y$  virtaavina eli fluentteina, joiden fluksioita eli muutosnopeuksia ylläolevat suureet  $p$  ja  $q$  ovat.

Principian ensimmäisessä laitoksessa Newton myöntää, että Leibnizilla oli samanlainen menetelmä. Hän poisti viittauksen Leibnizin keksintöön teoksen vuonna 1726 ilmestyneestä kolmannesta laitoksesta, joka ilmestyi heidän katkeran differentiaali- ja integraalilaskennan keksimisen riippumattomuutta ja prioriteettia koskevan riitansa jälkeen.

Nykyään pidetään melko selvänä, että Newton teki keksintönsä kymmenkunta vuotta ennen Leibnizia. Tämä kehitti sen Newtonista riippumatta. Leibnizilla on julkaisemisen prioriteetti, sillä hänen painettu differentiaali- ja integraalilaskennan kuvauksensa ilmestyi vuonna 1684 *Acta Eruditorumissa*, eräänlaisessa ”tieteellisessä kuukausijulkaisussa”.

### 5.6 Myöhemmin: Modernin fysiikan uudet teoriat

#### *Sähkömagnetismi ja suhteellisuusteoria*

Termodynamiikan ohella osoittautui sähköisten ilmiöiden teoria toiseksi fysiikan haaraksi, jossa ilmiöiden selittäminen klassillisen mekaniikan mallien mukaisesti johti vaikeuksiin. Aluksi tuntui sähköopin saattaminen matemaattiseen asuun sujuvan Newtonin gravitaatioteorian antaman mallin

mukaisella tavalla. Charles Augustin Coulomb (1736-1806) osoitti 1700-luvun lopulla, että sähköstaattiset ilmiöt voitiin selittää olettamalla kaksi sähköistä "fluidumia", jolloin saman fluidumin osat vaikuttavat toisiinsa poistovoimalla, eri fluidumien osat vaikuttavat toisiinsa vetovoimalla, ja voimat ovat Newtonin gravitaatiolakien mukaisella tavalla toisiinsa vaikuttavien osien välimatkan funktioita ... Tanskalaisen Hans Christian Ørstedin (1777-1851) vuonna 1820 julkaisema sähkövirran magneettisia vaikutuksia koskeva tulos oli vaikeasti sovitettavissa veto- ja poistovoimien teorian puitteisiin. Ampère'n ym. tutkimusten jälkeen kävi selväksi, että elektrodynaamisten eli liikkuvan sähköän aikaansaamien ilmiöiden selittämiseksi olisi turvauduttava toisenlaisiin teorioihin. Englantilainen Michael Faraday (1791-1867) ryhtyi esittämään sähkömagneettisia ilmiöitä ottamalla fundamentaaliseksi käsitteeksi "sähköisen substanssin" sijasta sähkömagneettisen kentän voimaviivat. James Clerk Maxwell täydensi Faradayn teoriaa ja esitti sen 1860-luvulla matemaattisessa asussa. Maxwellin asettamat elektrodynamiikan perusyhtälöt ovat siitä alkaen olleet sähkömagneettisen teorian perustana, ja niiden varaan on rakennettu laaja sähkötekniikka ja sen teollisuus. Teoria nousi fysiikassa keskeiseen asemaan mm. siksi, että se pystyi sisällyttämään itseensä myös tuolloin hallitsevaan asemaan nousseen valon aaltoteorian, ... Valo todettiin sähkömagneettisen kentän aaltoliikkeeksi, jolloin kaksi siihen asti erillisinä kehittynyttä fysiikan aluetta sulautuivat yhdeksi. Keskeistä osaa tapahtumasarjassa esitti Heinrich Hertz (1857-1894). Näin aikaansaatu teoria osoittautui niin menestykselliseksi, että kun myöhemmin heräsi epäilyjä siitä, riittääkö Maxwellin ja Hertzin elektrodynamiikka selittämään kaikkia valon ominaisuuksia, niin tämä nostatti paljon vastarintaa ...

Sähkömagneettisten voimakenttien hyväksyminen itsenäisesti olemassaoleviksi realiteeteiksi ei kuitenkaan tuntunut yhteensopivalta newtonilaiselle pohjalle rakennetun fysikaalisen maailmankuvan kanssa. Useat fyysikot yrittivätkin rakentaa sähkömagneettisille ilmiöille malleja, joissa sähkömagneettisten kenttien ja siis myös valon 'kantajana' on tiettyjä mekaniikan lakien avulla formuloitavissa olevia ominaisuuksia omaava *etteri*. Useat näistä yrityksistä olivat sellaisenaan mielenkiintoisia ja etevästi konstruoituja, mutta menestyksellistä teoriaa ei niiden avulla pystytty rakentamaan. Sähkömagneettinen teoria jäi fysiikkaan toisena klassillisesta mekaniikasta olennaisesti poikkeavalla tavalla rakennettuna teoriana.

Elektrodynamiikka osoittautui vakavammallakin tavalla newtonilaisen fysiikan käsitteistölle huolta tuottavaksi. Newtonin mekaniikalle oli tyypillistä, että sen mukaisesti toimivien systeemien ilmiöt olivat riippumattomia koko systeemin yhteisestä tasaisesta liikkeestä. Tätä mekaniikan ominaisuutta kutsutaan nykyään sen "Galilei-invarianssiksi", sillä samankaltaisten (tosin hieman poikkeavien) oletusten avulla oli Galilei voinut päätellä, että Maan liike ei aiheuta Maan pinnalla havaittavia dynaamisia ilmiöitä. Maxwellin elektrodynaamiset yhtälöt eivät kuitenkaan olleet Galilei-invariantteja. Tämä merkitsi, että tasaisessa liikkeessä olevassa systeemissä täytyisi sähkömagneettisten ilmiöiden tapahtua toisella tavalla kuin paikallaan pysyvässä systeemissä. Niinmuodoin pitäisi sähkömagneettisten kokeiden avulla pystyä määräämään, onko esimerkiksi Maa paikallaan "absoluuttisessa avaruudessa" vai liikkuuko se johonkin suuntaan. Kaikki Maan "absoluuttisen

liikkeen" määrittämiseksi yritetyt kokeet kuitenkin antoivat negatiivisen tuloksen. Tunnetuin näistä on Michelsonin ja Morleyn koe eri suunnista saapuvan valon nopeuden määrittämiseksi liikkuvan Maan suhteen. Sähkömagneettisena värähtelynä pitäisi valolla nimittäin olla määrätty vakionopeus absoluuttisessa avaruudessa, jossa Maxwellin yhtälöt pätevät, mutta liikkuvasta systeemistä havaittuna sillä täytyisi olla liikesuunnan mukaan vaihteleva nopeus. Tällaista valon nopeuden muutosta ei kuitenkaan havaittu.

Henri Poincarén (1854-1912) ja Hendrik Antoon Lorentzin (1853- 1928) töitä täydentäen ja tulkiten esitti Albert Einstein (1879-1955) liikkuvien systeemien elektrodynamiikalle uudenlaisen ratkaisun. Sen mukaan täytyy newtonilaisen fysiikan peruskäsitteet *avaruus* ja *aika* tulkita uudella tavalla: Jokaisella toistensa suhteen tasaisella nopeudella liikkuvalla havaitsijalla on oma avaruutensa ja oma aikansa, ja eri havaitsijoiden avaruuksien ja aikojen välillä vallitsee sellainen riippuvuus, että Maxwellin yhtälöt pätevät heille kaikille. Tällöin heille kaikille myös valon nopeus on sama. Teorian saattoi eleganttiin matemaattiseen asuun matemaatikko Hermann Minkowski (1864-1909). Hän otti käyttöön nelidimensioisen avaruus-ajan, jolloin kunkin havaitsijan avaruus ja aika ovat vain tämän nelidimensioisen 'absoluutin' eri tavoin annettuja projektioita.

Einsteinin vuonna 1905 luoma erityinen eli suppeampi suhteellisuusteoria merkitsi fundamentaalista murrosta fysiikan perusteita koskevissa näkemyksissä. Merkitsihän se, että käsitteitä avaruus ja aika, joita vuosisatoja oli pidetty varmoina ja itsestään selvinä sekä teoreettisen fysiikan että arkikokemuksen peruskäsitteinä, oli olennaisella tavalla revisioitava. Tämä oli yksi askel fysiikan abstrahoitumisprosessissa, josta pian tultiin saamaan uusia esimerkkejä. Fysiikka oli muuttumassa tieteeksi, jonka harrastajan täytyi hyväksyä matemaattisesti formuloitu käsitteistö tieteensä perustaksi siiloinkin, kuin tuolle käsitteistölle oli vaikea löytää arkikokemuksen ja havainnon mukaista tulkintaa. Fysiikan maailmankuvallista merkitystä ajatellen tästä - ja vielä suuremmassa määrin ... kvanttifysiikasta - alkoi prosessi, joka ei liene vielä päässyt päätökseensä. Tieteen vaikutus maailmankuvaan on hidas prosessi, ja suhteellisuusteorian synnystä on vasta niukasti sata vuotta kulunut.

Suhteellisuusteorian hyväksyminen merkitsi, että myös klassillisen mekaniikan liikeyhtälöt oli formuloitava hieman aikaisemmasta poikkeavassa uuden avaruus-ajan käsitteistöä käyttävässä asussa. Sama koski myös Newtonin gravitaatioteoriaa. Suhteellisuusteoria saavutti teoreettisen huippunsa kun Einstein modifioi sekä suppeamman suhteellisuusteorian että Newtonin gravitaatioteorian synteetiksi, jossa nelidimensioinen avaruusaika oletetaan kaareutuneeksi, ja sen kaarevuus selittää gravitaatioilmiöt. Tämä matemaattisesti raskas teoria antaa merkittäviä ja huomioon otettavia tuloksia lähinnä astronomisissa, varsinkin maailmankaikkeuden kokonaisuutta koskevissa yhteyksissä. ...

Hieman ennen vuosisadan vaihdetta aikoi fysiikan historiassa uusi vaihe, joka merkitsi klassillisen fysiikan peruskäsitteistön laajaa korvautumista modernin

fysiikan käsitteistön tieltä. Modernille fysiikalle voisi jopa ehdottaa syntymäpäivää: marraskuun kahdeksatta vuonna 1895. Tällöin keksi (jossain määrin sattumanvaraisesti) Konrad Röntgen (1845-1923) Würzburgissa sitteimmin nimellään tunnetun uudenlaisen säteilyn. Tätä seurasi pian radioaktiivisuuden keksiminen. Joseph John Thomson (1856-1946) keksi elektronin vuonna 1897. Ernst Rutherfordin (1871-1937) tutkimukset johtivat typpi-atomin hajottamiseen vuonna 1919. ...

(Lehti 2001, 63-65.)