

# Leibniz ja vis viva- kiista

MARKKU ROINILA  
HELSINGIN YLIOPISTO

# Lyhyesti

- Vis viva-kiista syntyi G. W. Leibnizin artikkelin *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii* (Acta eruditorum 3/1686) ilmestymisestä.
- Leibniz haastoi Descartesin ja hänen seuraajiensa näkemyksen, jonka mukaan kappaleen liikevoima (*vis motrix*) eli se voima, joka liikuttaa sitä, on yhtä kuin sen liikemäärä eli se vaihtelee kappaleen koon ja nopeuden mukaan ( $mv$ ).
- Syntyi vilkas kirjeenvaihto Leibnizin ja kartesiolaisten Abbé Catalanin ja Denis Papinin kesken, jotka puolustivat Descartesin näkemystä. Myöhemmin Newtonin kannattaja liittyivät kartesiolaisten puolelle. Kiista kesti aina 1700-luvun lopulle asti eikä oikeastaan koskaan ratkennut.
- Moderni käsitys energiasta syntyi lopulta vasta 1800-luvulla Helmholtzin, Meyerin, Joulen, Thomsonin, Clausiuksen ja muiden työn tuloksena.
- Termi elävä voima on vielä säilynyt tähtitieteen mekaniikassa.

# Brevis demonstratio



- Käännetty suomennosvalikoimaan Aho & Roinila (toim.), Leibniz: *Filosofisia tutkielmia* nimellä

*Lyhyt Todistus Descartesin ja muiden huomattavasta virheestä koskien luonnonlakia, jonka mukaan Jumala säilyttää saman liikemäärän; tätä he käyttävät väärin myös mekaniikassa (Tammikuu 1686)*

- Leibniz haluaa osoittaa, että kartesiolaiset ovat väärässä liikkeen teoriassaan väittäessään, että voima muodostuu liikemäärästä ja että Jumala säilyttää jatkuvasti saman liikemäärän universumissa.
- Leibnizin mukaan kartesiolainen oppi johtaa mm. siihen, että voidaan rakentaa ikilikkuja, sillä jos liikkeen määrä on vakio, voidaan rakentaa kone joka on aina liikkeessä.



# Descartesin käsitys liikkeestä

- Descartesille liike oli paikallista eli paikan muutosta:

“Voimme sanoa sen olevan aineen yhden osan eli yhden kappaleen siirtymistä sitä välittömästi koskettavien ja liikkumattomina tarkasteltavien kappaleiden läheisyydestä toisten kappaleiden läheisyyteen” (*Filosofian periaatteet* II, 25; Descartes, *Teokset* III, s. 79)

- Kyse on siis kappaleen siirtymisestä, ei siitä, että kappaleessa itsessään olisi jokin mikä siirtää sitä. Toisin sanoen liike erotetaan sen aiheuttajasta ja toisaalta Descartes erottaa myös tiukasti liikkeen levosta.
- Kappaleet liikkuvat aina suoraa linjaa pitkin ja muutos tapahtuu vasta kappaleiden yhteentörmäyksen kautta. Koska Jumala toimii aina samalla tavalla, on nähtävä, että hän on sijoittanut tietyn määrän liikettä maailmaan ja hän aina säilyttää saman liikemäärän maailmassa.

# Jumala ja liikemäärä

- Mutta mitä tarkkaan ottaen Jumala säilyttää maailmassa?
- Descartesin mukaan kyse on kappaleen koon (ekstension/ulotteisuuden) ja nopeuden tulosta.
- Kun kappale törmää toiseen ja muuttaa suuntaansa, ei ole muutosta sen liikkeen määrässä ellei sen nopeudessa ole muutosta.



# Liikemäärän ongelmat

- Huygens: liikemäärä säilyy vain jos sitä ajatellaan vektorisuureena
- Leibniz : *Lyhyt todistus*

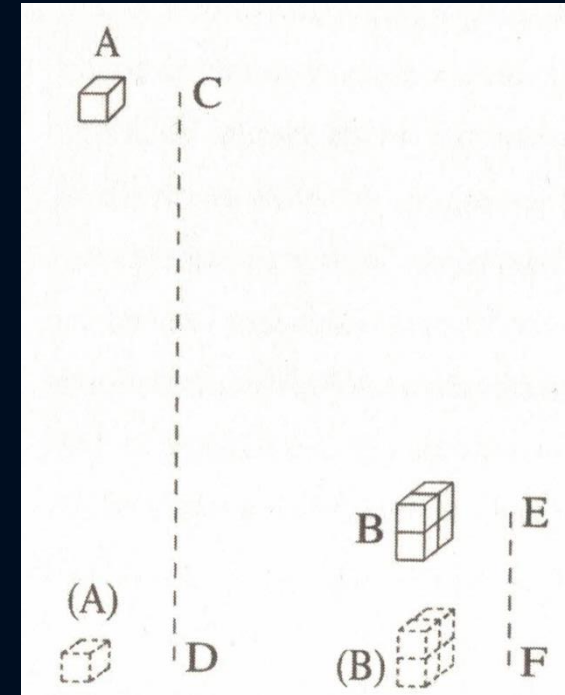
”Havaitessaan viidessä tavallisessa koneessa nopeuden ja massan kompensoivan toisensa monet matemaatikot arvioivat yleisesti liikevoimaa liikemäärän perusteella tai kappaleen ja sen nopeuden tulona...sen vuoksi Descartes, joka piti liikevoimaa ja liikemäärää keskenään ekvivalentteina, julisti Jumalan säilyttävän saman liikemäärän maailmassa.” (Leibniz 2011, 80)

- Leibniz pyrkii osoittamaan teorian vääräksi vastaesimerkillä

# Leibnizin vastaesimerkki

”Minä taas, osoittaakseni miten suuri ero näiden kahden välillä on, oletan ensiksikin, että tietyltä korkeudelta putoava kappale saavuttaa voiman nousta sinne takaisin, jos sen suunta kuljettaa sitä sinne eikä mikään ulkoinen tekijä ole esteenä...toiseksi oletan, että yhden naulan painoisen kappaleen A kohottaminen neljän kyynärän korkeuteen CD vaatii yhtä suuren voiman kuin neljän naulan painoisen kappaleen B kohottaminen yhden kyynärän korkeuteen EF. Kaiken tämän myöntävät kartesiolaiset samoin kuin muut aikamme filosofit ja matemaatikot.”  
(Leibniz 2011, 80)

- Oletuksista seuraa, että korkeudelta CD putoava kappale A saavuttaa täsmälleen samansuuruisen voiman kuin korkeudelta EF putoava kappale B.

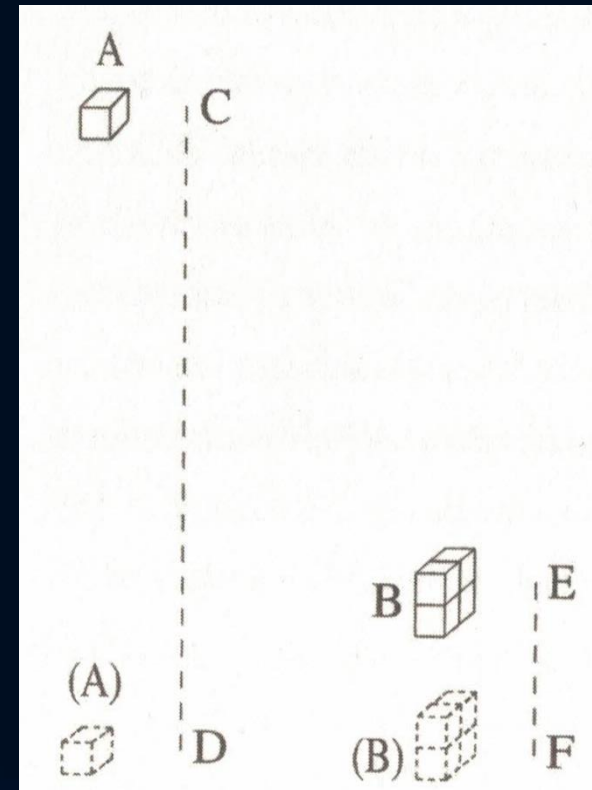




# Edelleen...

"Sen jälkeen kun kappale (A) pudotessaan korkeudelta C päätyy korkeuteen D, sillä on silloin ensimmäisen oletuksemme mukaisesti voima nousta takaisin korkeuteen C, toisin sanoen voima kohottaa yhden naulan painoinen kappale (nimittäin kappale itse) neljän kyynärän korkeuteen. Ja samalla lailla kappaleella (B) pudottuaan korkeudelta E korkeuteen F on silloin voima nousta uudelleen korkeuteen E, ensimmäisen oletuksemme mukaan, toisin sanoen voima kohottaa neljän naulan painoinen kappale (nimittäin kappale itse) yhden kyynärän korkeuteen.

Näin ollen toisen oletuksemme mukaan kappaleen (A) voima sen ollessa korkeudella D ja kappaleen (B) voima sen ollessa korkeudella F ovat yhtä suuret." (Leibniz 2011, 81)



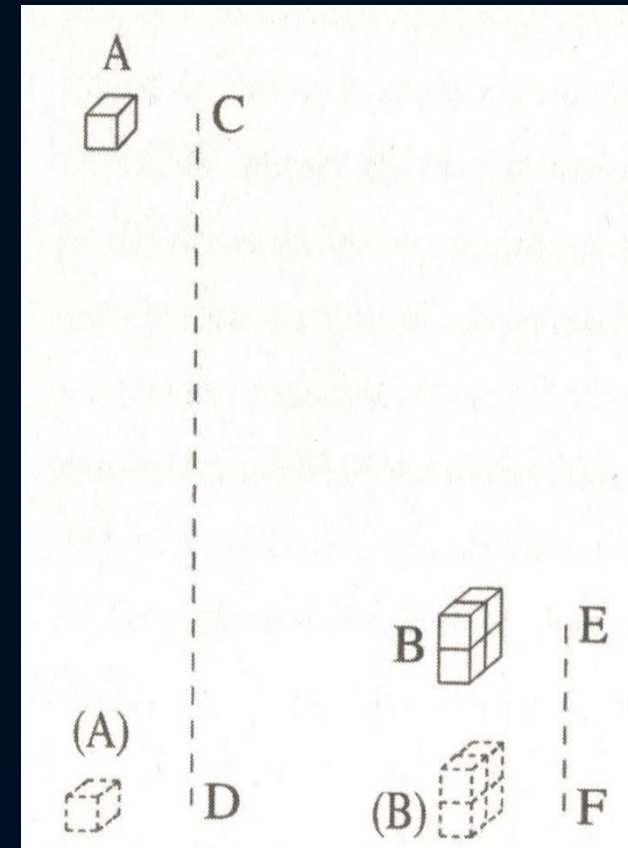


## ...mutta

"Katsokaamme edelleen, onko myös liikemäärä sama molemmissa tapauksissa [kuten pitäisi olla Descartesin esittämässä teoriassa]. Vastoin odotuksia siitä löytyykin hyvin suuri ero."

"Kertokaamme siis kappaleen A paino 1 sen nopeudella 2, jolloin tulos eli liikemäärä on 2. Kertokaamme edelleen kappaleen paino 4 sen nopeudella 1, jolloin tulos eli liikemäärä on 4. Näin ollen korkeudella D olevan kappaleen (A) liikemäärä on puolet korkeudella F olevan kappaleen (B) liikemäärästä, ja kuitenkin hetki sitten voimien nähtiin olevan kummassakin tapauksessa yhtä suuret." (Leibniz 2011, 81)

- Leibniz osoittaa tässä, että kappaleen B liikemäärä on tuplasti sen verran kuin kappaleen A. Ei siis voida katsoa, että liikevoima ja liikemäärä ovat samansuuruiset ja tämän vuoksi myös Descartesin väitteeltä, että Jumala säilyttää maailmassa saman liikemäärän, menee perusta.



# Niinpä:

”Tästä käy selville, että voimaa on arvioitava sen perusteella, millaisen vaikutuksen määrän se voi tuottaa, esimerkiksi sen korkeuden perusteella, johon tietyn kokoinen ja laatuinen painava kappale voi kohota. Sitä ei siis pidä arvioida voiman kappaleelle antaman nopeuden perusteella [mv, Descartesin näkemys]. Jotta sama kappale saavuttaisi kaksinkertaisen nopeuden, tarvitaan suurempi kuin vain kaksinkertainen voima” (Leibniz 2011, 81)

- Leibniz esittääkin voimalle uudenlaista määrittystä, joka perustuu sen vaikutukseen tai kykyyn tehdä työtä pikemmin kuin kartesiolainen liikemäärä.
- Olennaista ei ole kappaleen ulotteisuus, kuten kartesiolaiset väittivät, vaan sen massa, ja kappaleiden pudotessa tietyltä korkeudelta ei säily niiden liikemäärä vaan tietty määrä energiaa.
- Edellä esitetyssä esimerkissä kappale B eli painavampi kappale nousee neljäosan kappaleen A korkeuteen ja silti niiden voimat eli kyky tehdä työtä ovat yhtä suuret. Toisin sanoen näiden kahden kappaleen nousussa säilyy yhtäsuuri määrä energiaa, ja tätä Leibniz piti todellisena voiman määreenä.
- Liikkeessä on todellista vain voima, hetkellinen tila, joka vie seuraavaan tilaan.
- Leibniz kutsui tätä voimaa eläväksi voimaksi (*vis viva*), joka tarkoitti yhtäläillä voimaa ja energiaa ja oletti sen suureeksi massan ja nopeuden tulon neliötä ( $mv^2$ ). Nimenomaan elävä voima säilyy maailmassa liikemäärän sijaan.

# Vis viva-kiista



- Kartesiolainen näkemys liikemäärän säilymisestä maailmasta oli paradigma aina 1690-luvulle saakka.
- Kiistan ensimmäisinä vuosina vastakkain olivat Leibniz ja kartesiolaiset, mutta kun Leibnizin ja Clarken välinen kirjeenvaihto julkaistiin vuonna 1717, kiista alkoi uudestaan ja Newtonilaiset liittyivät kartesiolaisten riveihin vastustamaan elävää voimaa.
- Kiihvain riita sijoittui 1720-luvulle, jolloin käytiin vilkkaita keskusteluja dynamiikasta, eritoten liikkuvien kappaleiden voiman oikeasta mittaamisesta.
- Monet tunnetut kartesiolaiset vaihtoivat puolta, tunnetuimpana Jean Bernouilli ja William 's Gravesande. Tämä sai Samuel Clarken väittämään vuonna 1728, että hänen vastustajansa pyrkivät tarvelemään suuren Isaac Newtonin maineen.

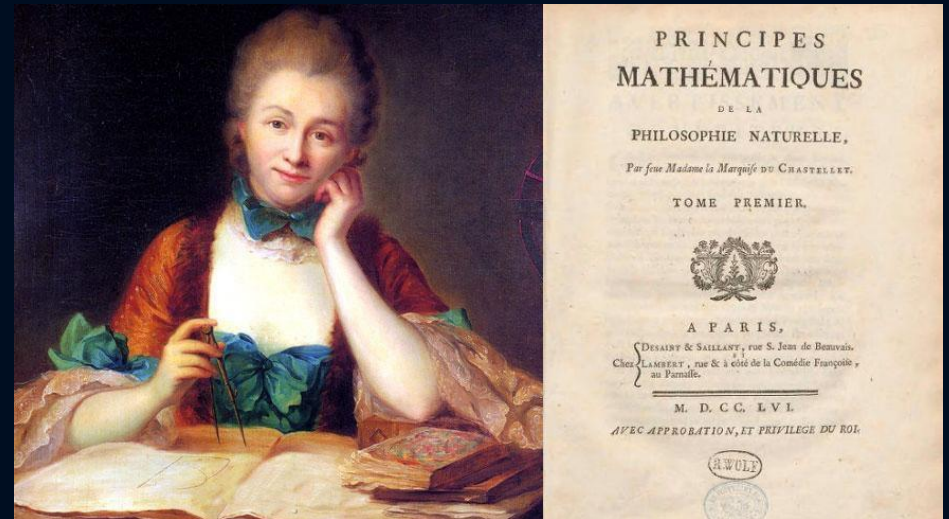


# Kiistakysymykset

- Kiistassa oli tarkkaan ottaen kaksi eri elementtiä. 1) Vaikutukset, jotka liikkuva kappale tuottaa kun sen pysäyttää yhteentörmäys tai painovoima. Onko kyseessä elävä voima vai ei? 2) Kysymys energian tai liikemäärän säilymistä. Iltis on maininnut vielä käsitteellisen sekaannuksen koskien liikemäärän ja kuolleen voiman (*vis mortua*) eroa .
- Avoimiin kysymyksiin kuuluivat säilymislait (mikä suure mahdollisesti säilyi luonnossa vai säilyikö mikään), törmäysten ja painovoiman vaikutusten analyysi (esimerkiksi sen suhteen sisältyykö pehmeisiin kappaleisiin elävää voimaa; tämän vaikeuden myös Leibniz itse myönsi myöhemmissä kirjoituksissaan) sekä kysymys siitä, oliko kaukovaikutus järjellinen luonnonilmiöiden selitys.
- Kartesiolaisille liikemäärästä luopuminen fysiikan keskeisenä käsitteenä oli vaikea pala, sillä he uskoivat, että avaruus on aineen täyttämä. Myös aineen olemuksesta kiisteltiin: koostuiko aine erillisistä, kovista ja kokoonpuristumattomista hiukkasista vai oliko se loputtomiin jaollista ja siten periolemukseltaan elastista? Lisäksi oli avoinna kysymys, miten ja millaista matematiikkaa käyttäen mekaniikan ongelmia tulisi ratkaista.
- Kiistaan liittyi myös metafysisiä elementtejä, sillä Leibniz halusi elävän voiman markkeeraavan kussakin substanssissa ja substanssien aggregaatissa olevaa aktiivisuutta, kun taas Newton halusi *Principian* enimmäisessä osassa pitää voiman mekaniikan perustavana käsitteenä.

# Sovitusyritys

- Émilie de Châtelet, joka tunsi hyvin Newtonin mekaniikan, mutta kannatti Leibnizin näkemyksiä, popularisoi ja kehitti niitä teoksessaan *Institutions de Physique* (1740), joka oli eräänlainen yhdistelmä Newtonilaisuutta (mekaniikka), kartesiolaisuutta ja leibnizilaisuutta (dynamiikka).
- Hän pyrki siis sovittamaan kiisteleviä osapuolia yhteen, vaikka hänen kantansa oli selvästi Leibnizilainen.
- Heikkoutena oli kuitenkin se, että osapuolien eri metafysiikoiden välillä oli eräitä ongelmia, joita De Châtelet ei huomionnut.
- Hänen substanssikäsityksensä oli myös varsin kartesiolainen, mikä ei ollut hyvin yhteensopiva Leibnizilaisen dynamiikan kanssa.



# Kiistan "loppu"

- 1740-luvulla kiista alkoi kuivua kasaan, vaikka jonkinlaista kinaa kesti 1700-luvun puoliväliin saakka.
- Osapuolet väsyivät vähitellen väittelyyn ja tulivat siihen tulokseen, että viimeiset 50 vuotta he eivät ehkä olleet puhuneet aivan samasta asiasta.
- Yksi selviä etappeja kiistan päättymisessä oli D'Alembertin teoksen *Traité de dynamiquen* ilmestyminen 1743, mutta sekään ei varsinaisesti ratkaissut kiistan kaikkia ongelmia. D'Alembertin teoksen toisessa painoksessa vuonna 1758 esitettiin kuitenkin jo Boscovichin aiemmin, 1745, esittämä huomio, joka tavallaan ratkaisi kiistan. Sen mukaan elävä voima eli kineettinen energia on voiman suure, joka vaikuttaa matkan päästä, kun taas liikemäärä on voiman suure, joka vaikuttaa ajan kautta.
- Joidenkin tulkitsijoiden mukaan kiista jatkui kuitenkin vielä pienimuotoisena 1800-luvulle asti.
- Ehkäpä vihoviimeinen päätepiste kiistassa saavutettiin vuonna 1807, jolloin termiä "energia" käytti ensimmäisen kerran Thomas Young.



# Lähteitä

Descartes, Réne, Teokset III

Garber, Daniel, Descartes' Physics, teoksessa John Cottingham (toim.), The Cambridge Companion to Descartes, Cambridge University Press, 1992, s. 286-334.

Garber, Daniel, Leibniz: Body, Substance, Monad. Oxford University Press, 2009.

Garber, Daniel, Leibniz: Physics and Philosophy, teoksessa Nicholas Jolley, The Cambridge Companion to Leibniz. Cambridge University Press, Cambridge 1995, s. 270-352.

Hankins: "Eighteen-Century attempts to resolve the vis viva controversy", Isis, vol. 56 (1965), s. 281-297

Iltis, Carolyn, "Leibniz and the Vis viva Controversy". Isis, vol. 62, 1 (1971), 21-35.

Iltis, Carolyn, "Madame du Chatelet's metaphysics and mechanics", Studies in History and Philosophy of Science 8 (1977), 1. S. 29-48

Leibniz, Filosofisia tutkielmia. Toimittaneet Tuomo Aho ja Markku Roinila. Gaudeamus, Helsinki, 2011.

Ross, MacDonald George. Leibniz. Oxford University Press, Oxford 1984.

Smith, George E. "The Vis Viva dispute: A Controversy at the Dawn of Dynamics", Physics Today, October 2006, 31-36

Terrall, Mary: Maupertuis. Maapallon muodon mittaaja. Väylä, 2017.

Wikipedia, "Vis Viva"-artikkeli