

# MS-E1011 Tieteen historia

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

## Materiaalia saa käyttää ainoastaan henkilökohtaisiin opiskelutarkoituksiin!

"Tieteen historia ilman tieteenfilosofiaa on sokea. ... Tieteenfilosofia ilman tieteen historiaa on tyhjä." - Norwood Russell Hanson 1962

"Tiede on tavattoman vaikeaa. Luonnon kieltä ei ole helppo oppia, ja hyvin pienen, hyvin suuren ja hyvin monimutkaisen maailman tutkiminen vaatii välineitä, joiden kehittäminen on vienyt vuosisatoja. Kenties juuri siksi todellisen tieteen syntyä piti odottaa niin pitkään. Vaikka jokaisessa lapsessa piilee pieni tutkija, pieni kokeilija ja keksijä, tieteellinen ajattelutapa ja tieteen menetelmien oppiminen ei ole jotain, mikä tulee aikuiselle luonnostaan, tai ainakaan yhtä helposti kuin taiteellinen luovuus. ....

'Entä mitähän hyötyä meille mahtaa olla siitä, että tiedämme Vegan massan olevan 2,135 kertaa Auringon massa?' kysyy tässä kohden nimimerkki *Joukko huolestuneita veronmaksajia*. ... miten jonkun tähden läpimitan selville saaminen muka auttaa meitä siinä paljon puhutussa 'ihmisen ja maailman välien hoitamisessa'? ...

Rehellisesti sanottuna, aivan omana itsenään ei mitenkään. Tieto yhden nimenomaisen tähden läpimitasta on sinällään yhtä hyödyllinen kuin yksi hiekanjyvä, ei sitä kukaan oikeasti kaipaa. Mutta riittävän monesta hiekanjyvistä muodostuu hiekkaranta, joka onkin käyttökelpoisuudeltaan jo aivan eri juttu.

Tieteen perustana on suunnaton määrä hiekanjyviä, koko ajan kasvava määrä faktoja, *tosia uskomuksia* maailmasta. ..."

Valtaoja, Esko, *Kaiken käsikirja*, Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Helsinki 2012.

## 1 Tieteen synty

"Tieteen täytyy alkaa myyteistä ja niiden kritiikistä" - Sir Karl Popper

### KIRJALLISUUTTA

Aristoteles, *Fysiikka, Teokset III*, Gaudeamus, Helsinki 1992.

Aristoteles, *Taivaasta. Syntymästä ja häviämisestä*, Teokset IV, Gaudeamus, Helsinki 2003.

Aristoteles, *Metafysiikka*, Teokset VI, Gaudeamus, Helsinki 1990.

Aspelin, Gunnar, *Ajatuksen tiet. Yleinen filosofian historia*, 2. painos, WSOY, Porvoo – Helsinki – Juva 1977.

Diogenes Laertios, *Merkittävien filosofien elämät ja opit*, Summa, Helsinki 2002.

Gerholm, Tor Ragnar ja Sigvard Magnusson, *Ajatus, aate ja yhteiskunta. Länsimaisten aatteiden ja tieteitten, poliittisten ja yhteis-kunnallisten järjestelmien vuorovaikutus antiikista nykyaikaan*, 2. painos, WSOY, Porvoo-Helsinki-Juva 1983.

Gregory Andrew, *Eureka! The Birth of Science*, Icon Books, Cambridge 2001.

Ketonen, Oiva, *Eurooppalaisen ihmisen maailmankatsomus*, kolmas painos, WSOY, Porvoo – Helsinki – Juva 1981.

Knuuttila, Simo, *Järjen ja tunteen kerrostumat*, Suomalainen teologinen kirjallisuusseura, Helsinki 1998.

Korkman, Petter ja Mikko Yrjönsuuri (toim.), *Filosofian historian kehityslinjoja*, Gaudeamus, Helsinki 1998.

Lehti Raimo, "Eukleideen Stoikheia ja matemaattisen tiedon probleemi", teoksessa Oikkonen Juha (toim.), *Katsauksia matematiikan historiaan*, Gaudeamus, Helsinki 1982.

Lehti Raimo, *Tähtiä ja ihmisiä*, Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry, Helsinki 1996.

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

Newth, Eirik, *Totuuden jäljillä. Luonnontieteiden historia*, Tammi, Helsinki 2002.

Niiniluoto, Ilkka, "Tiede ja tieteenfilosofia", teoksessa Vesa A. Niskanen (toim.), *Tieteellisten menetelmien perusteita ihmistieteissä. Opiskelijan opas*, Helsingin yliopiston Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus 1994.

Niiniluoto, Ilkka, "Tieteen tunnuspiirteet", teoksessa Karjalainen, Sakari, Veikko Launis, Risto Pelkonen & Juhani Pietarinen (toim.), *Tutkijan eettiset valinnat*, Gaudeamus, Helsinki 2002, 30 – 41.

Pietikäinen, Petteri, *Hulluuden historia*, Gaudeamus, Helsinki 2013.

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

Suntola, Tuomo, *Tieteen lyhyt historia – vai pitkä tie luonnonfilosofian ja empirismin kohtaamiseen*, Physics Foundations Society, 2012.

Thesleff, Holger ja Juha Sihvola, *Antiikin filosofia ja aatemaailma*, WSOY, Porvoo – Helsinki – Juva 1994.

Toulmin, Stephen, *The fabric of the heavens: the development of astronomy and dynamics*. Harper, New York 1961.

Valtaoja, Esko, *Kaiken käsikirja*, Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Helsinki 2012.

### **1.1 Yleiskatsaus tieteen syntyyn ja kehitykseen** (Niiniluoto 1994)

Usein sanotaan tieteen syntyneen muinaisen Egyptin ja Babylonian kulttuureissa toisaalta jatkeena ihmisen ja luonnon väliseen vuorovaikutukseen, toisaalta heräävän sivistyksen tarpeisiin. Kalenterien laatimiseen ja purjehtimiseen liittyi tähtitiede,

maanviljelyyn ja rakentamiseen geometria, kaupankäyntiin aritmetiikka ja ihmisen parantamiseen lääketiede. Kuitenkin yleisesti katsotaan, että babylonialaisten ja egyptiläisten tiede oli käytännöllistä ”teknologiaa”: he osasivat käyttää ympäristöä hyväkseen, mutta selitykset puuttuivat tai perustuivat myytteihin.

Myös Kiinan ja Intian kulttuuripiireissä kehitettiin tieteen alkeita.

Järjestelmällinen tieteenharjoitus: antiikin Kreikka n. vuoden 600 eKr. jälkeen. Kehitettyjä aloja: filosofia, matematiikka, matemaattinen tähtitiede, fysiikka, eläin- ja kasvioppi, lääketiede, historiankirjoitus, kielioppi, runousoppi ja valtio-oppi.

- hellenistinen aika: tähtitiede (Ptolemaios), fysiikka (Arkhimedes)
- roomalaiset: oikeustieteen tutkimus
- tuhatvuoden taantuma, antiikin tieteen perintö uudelleen tunnetuksi n. v. 1100 lähtien
- skolastiikan piirissä teologia, filosofia ja logiikka keskeisiä, myös luonnontieteitä kehitettiin sekä teoreettiseen että kokeelliseen suuntaan
- renessanssiaika: uuden tieteen läpimurto tähtitieteilijöiden (Kepler, Kopernikus), fyysikkojen (Galilei), filosofien (Bacon, Descartes) ja humanistien ansiosta
- uudella ajalla luonnontieteet ja niihin perustuva tekniikka kasvaneet räjähdysmäisesti: 1700-luvulta lähtien tieteenharjoituksen arvioidaan määrällisesti kaksinkertaistuneen 10-15 vuoden välein (yli 90% kaikista tiedemiehistä on elossa!)
- uusien tieteenalojen vakiintuminen: kemia 1700-luvulla, biologia, kriittinen historiatiede, vertaileva kielitiede, kansatiede ja arkeologia 1800-luvulla, sosiologia, psykologia ja logiikka 1900-luvulla.
- nykyaikainen tiedemiehen ammatti vakiintui 1800-luvulla
- termi *scientist* englanninkielessä: William Whewell 1840.
- suomen kieli: tieteilijä eli tutkija eli tieteenharjoittaja

Kielitoimiston sanakirja:

*tieteilijä*: tutkija, tiedemies, -nainen, tieteenharjoittaja. Esim. eläin-, kieli-, tähtitieteilijä.

*Tieteen historian tutkimus*

Järjestelmällinen tieteen historian kirjoitus syntyi 1700-luvun lopussa:

William Whewell, *History of the Inductive Sciences from the Earliest to the Present Times 1 – 3* (1837): ensimmäinen laaja yleisesitys luonnontietiden historiasta.

Pierre Duhem, *Études sur Léonardo de Vinci 1 – 3* (1906-13); *Système du Monde 1 – 10* (1913-59): uusi näkökulma myöhäisen keskiajan tieteeseen.

1900-luvulla tieteen historia on saanut itsenäisen aseman tutkimusalana.

*Suomen tieteen historia 1–4*, WSOY 2000.

*Tieteiden luokittelu*

- Aristoteles: teoreettiset (pyrkivät totuuteen) ja käytännölliset (tähtäävät toimintaan)
- menetelmien perusteella: formaaliset ja empiiriset tieteet (reaalitieteet); metoditieteet?
- reaalitieteet (jako kohteen perusteella): yhteiskuntatieteet ja humanistiset tieteet (=ihmistieteet, vrt. henkitieteet), luonnontieteet (eksaktit ja ei-eksaktit)
- puhtaat ja soveltavat tieteet

### *Tieteen tunnuspiirteet*

“Tiede on monikerroksinen historiallinen kulttuuri-ilmiö, jonka luonnetta on vaikeaa kiteyttää yleispätevän määritelmän muotoon. Tieteen erottamista epätieteestä pidetään tieteenfilosofian peruskysymyksenä, ja siihen on annettu useita erilaisia vastauksia esimerkiksi viittaamalla tieteellisen tiedon, metodin tai instituution erityislaatuun. On jopa väitetty, ettei mitään selkeää rajanvetoa ole mahdollista tehdä. Silti esitän [...], että tieteen harjoittamisella on tyypillisiä piirteitä, joiden avulla se voidaan tunnistaa.”

(Niiniluoto 2002, 30.)

### *Tieteellinen menetelmä*

Tästä lisää myöhemmin kurssilla.

## **1.2 Tarkemmin tieteen synnystä**

### *Egyptiläisten tieteestä:*

- egyptiläiset ja matematiikka: aritmetiikka, geometria
- egyptiläiset ja tähtitiede: keksineet sen kalenterin, joka vähäisin muutoksin oli juliaanisen kalenterin nimellä käytössä suuressa osassa Eurooppaa ennen ns. gregoriaanista kalenteria
- egyptiläiset ja lääketiede

### *Babylonialaisten tieteestä*

- tarinoita maailman luomisesta, vedenpaisumuksesta ja paratiisista
- tähtitieteen syntymäseutu
- lääkintätaito Babyloniassa

Kuitenkin järjestelmällinen tieteenharjoitus alkoi vasta antiikin Kreikassa vuoden 600 eKr. jälkeen.

Kreikkalaisella maailmankuvalla on keskeinen asema tieteen historiassa useista syistä johtuen:

1. Se on muovannut käytännöllisesti katsoen kaikkea länsimaista ajattelua aina 1600-luvun tieteelliseen vallankumoukseen asti, ei ainoastaan tieteessä vaan myös filosofiassa ja uskonnossa. Vallitseva ajattelutapa – ja sen useimmat vaihtoehdot – oli yhdistelmä kreikkalaista tiedettä, kreikkalaista filosofiaa ja kristillistä teologiaa, johon puolestaan kreikkalainen filosofia ja teologia oli syvällisesti vaikuttanut. Jotta ymmärtäisimme tieteellisen vallankumouksen luonteen, meidän on ymmärrettävä kreikkalaisen tieteen luonne, sen vahvuudet ja heikkoudet.

2. Kreikkalaisten ajatusten vaikutus ei suinkaan päättynyt tieteelliseen vallankumoukseen. Monet heidän käsityksistään – kuten atomismi – ovat edelleen voimissaan, ja monet kreikkalaisten kehittämistä periaatteista maailmankaikkeuden ymmärtämiseksi ja tutkimiseksi ovat edelleen päteviä.
3. Kreikkalainen tiede eroaa monella jännittävällä tavalla nykyajan tieteestä. Tutkimuksen henki on kenties säilynyt samana, mutta tieteen sisältö on muuttunut radikaalisti. Kreikkalaisilla oli monia kiehtovia käsityksiä, joista jotkut näyttävät jossain määrin oudoilta nykyaikaisin silmin katsottuina ja jotkut ovat virheellisiä.

Usein sanotaan, että vasta kreikkalaiset pyrkivät ylittämään pelkän tekniikan. He alkoivat kehittää ensimmäisiä yritelmiä teorioiksi.

Milloin ja missä tiede alkoi? Riippuu jossain määrin siitä mitä tieteellä ymmärrämme. Usein sanotaan, että tiede on tekniikkaa kehittyneempi aktiviteetti. Tekniikan avulla tiedämme *miten* jotain tehdään tai *milloin* jotain tapahtuu. Tieteen myötä meillä on teoria ja selitys siitä *miksi* sellaisen asian oli tapahduttava.

Tiede menee askeleen pidemmälle kuin tekniikka. Se vaatii ainakin yrityksen selittää ja ymmärtää. Mutta se miten pitkästä askeleesta on kysymys, on toinen asia. Mitä enemmän tieteeltä vaadimme, sitä myöhäisemmäksi sen syntyäika siirtyy.

Minimivaatimuksena etsimme seuraavaa:

1. Tiede on tekemisissä luonnollisen maailman kanssa – näin ollen etsimme tietoisuutta luonnollisen ja yliluonnollisen väliselle erottelulle ja halua selittää käyttämällä ainoastaan luonnollisia tekijöitä eikä esimerkiksi viittaamalla jumalien puuttumiseen asioihin.
2. Tiedettä ilmaistaan teorioiden avulla – näin ollen etsimme maailmaa koskevia teorioita vastakohtana joillekin muinaisille yhteiskunnille tyypillisille myyteille tai runoille.
3. Tiedettä luonnehtii myös matematiikan, kokeiden ja havaintojen käyttö. Näin ollen etsimme tiedettä vastakohtana pelkälle teknologialle.
4. Meitä auttaisi myös jos ehdokkaamme tieteen alullepanijoiksi olivat tietoisia eroista sen välillä, mitä he itse tekivät, ja mitä heidän edeltäjänsä tekivät.

Vasta Kreikassa luotiin luonnontiedettä, joka (Platonin sanoin) tahtoi ”tuntea kaiken syyt – tietää miksi jotain syntyy ja miksi se on olemassa”. Siirtyessään sitten tutkimaan inhimillisiä elämän olosuhteita kreikkalainen ajattelu noudatti samaa tiedon ihannetta: se tahtoi havaita ilmiöt selvästi ja yrittää löytää niiden syyt. Kreikkalaiset itse uskoivat elävänsä kosmoksessa – paikassa, jossa vallitsee hyvä järjestys. Kreikkalaiset tekivät eron luonnollisen ja yliluonnollisen välille. Kosmos oli heille täysin luonnollinen paikka, jonka järjestyksen ihmiset pystyisivät selittämään ja ymmärtämään. (Klassisessa kreikassa *kósmos* tarkoittaa järjestystä sekä universumia ja maailmaa. Sana on kantasanana mm. sanoille ’kosmologia’ (oppi maailmankaikkeuden rakenteesta ja historiasta), ’kosmogonia’ (oppi maailmankaikkeuden synnystä) ja ’kosmetiikka’, sillä *cosmeo* ei viitannut ainoastaan

järjestykseen vaan myös hyvään, kauniiseen, esteettisesti miellyttävään järjestykseen.) Asiat eivät tapahtuneet sattumalta tai jumalten oikusta. Kosmosta voi myös kuvata menestyksekkäästi lukujen ja sanojen avulla.

Kreikkalaisen tieteen piirissä kehitettyjä aloja olivat filosofia (Platon, Aristoteles), matematiikka (Eukleides), matemaattinen tähtitiede, fysiikka, eläin- ja kasvioppi, lääketiede (Hippokrates), historiankirjoitus (Herodotos), kielioppi, runousoppi ja valtio-oppi.

### **1.3 Kreikkalaisen filosofian ja tieteen alkuvaiheista**

#### *Sokratesta edeltänyt aika*

Länsimaisen filosofian – usein myös tieteen – historiat alkavat esisokraatikoiksi kutsutuista ajattelijoista, filosofeista tai luonnontutkijoista. Nämä vaikuttivat kreikkalaisen maailman eri osissa vuosien 600 ja 400 eKr. välillä. Aristoteleen mukaan filosofia alkaa silloin, kun teologiset selitykset korvataan luonnollisilla ja aletaan vaatia, että esitetyt perustelut ja selitykset vakuuttavat kenet tahansa, eivät vain niiden esittäjää itseään.

Esisokraatikkojen keskeisimpänä ryhmänä pidetään Miletoksen luonnonfilosofeja, joihin luetaan esimerkiksi Thales, Anaksimandros ja Anaksimenes. Sofistien aikakaudelle eli 400-luvulle eKr. saakka heille ja muillekin esisokraatikoille oli tunnusomaista pohtia luonnonilmiöiden ja maailmankaikkeuden fyysistä olemusta. Tämä oli 'viisasten miesten' vapaa-ajan harrastusta, jota ei ollut tarkoitettu laajalle yleisölle eikä siis mullistamaan maailmankuvaa tai tavallisia uskomuksia. [...]

Eräänlainen yhteinen piirre löytyy kaikkien esisokraatikkojen ajattelusta: luonnollisten ja muutoksessa muuttumattomina pysyvien lainalaisuuksien eli invarianssien etsiminen asioista itsestään ja niiden selittäminen järkiperäisesti perinteisistä uskomuksista riippumatta. Ilmiöt tahdottiin johtaa jostakin yhteisestä alku- tai selitysperstusta eli periaateista (*arkhē*). Tämä saattoi olla alkuaine (kuten ilma tai tuli), äärettömyys sellaisenaan, näkymätön hiukkanen (atomi), mitattavuus (eli luku kuten pythagoralaisilla) tai kahden perustan eli periaatteen kamppailu (kuten rakkauden ja vihan). Luottamus järkeilyyn, niin vapaan assosiativista kuin se olikin, vei yleistäviin teorioihin.

Kreikan filosofia sai alkunsa teoriinnista ja 'ihmetyksestä' (Platon, *Theaitetos* 155d). Se oli alusta asti perusluonteeltaan järjellistä, rationaalista ja yleensä myös argumentoivaa, perusteluja etsivää – ei julistavaa.

(Thesleff Holger, "Platon ja platonismi", teoksessa Korkman ja Yrjönsuuri 1998, 31 – 32.)

Thales eli Miletoksessa vuoden 600 tienoilla eKr.

Hän esitti, että kaiken perusta on vesi ja että maailma on sielullinen ja täynnä jumalhenkiä. Hänen sanotaan myös löytäneen vuodenaajat ja jakaneen vuoden 365 päivään. (Diogenes Laertios 2002, 20.)

Toiset väittävät maan sijaitsevan veden pinnalla. Tämä on kaikkein vanhin meille säilynyt selitys, ja miletoslaisen Thaleen kerrotaan esittäneen sen. Sen mukaan maa pysyy paikallaan, koska se kelluu kuin puu tai jokin muu

sellainen, joka luonnostaan pysyy veden pinnalla, vaikka ei pysyisi ilmassa. Mutta tässä ei ole huomattu, että myös maata kannattavasta vedestä voi sanoa saman kuin maasta. Vesikään ei näet pysy luonnostaan ylhäällä, vaan se lepää jonkin päällä.

(Aristoteles, *Taivaasta* II,13,294a29-294b1)

Useimmat ensimmäisistä filosofeista uskoivat vain lajiltaan aineellisten peruselementtien olevan kaikkien peruselementtien, sillä he sanovat olevien peruselementtien ja peruselementtien sitä, josta kaikki oliot koostuvat ja josta ne ensiksi syntyvät ja johon ne lopulta häviävät siten, että substanssi säilyy muuttumattomana, vaikka sen ominaisuudet vaihtelevat. ...

Kaikki eivät kuitenkaan ole yhtä mieltä näiden peruselementtien määrästä ja lajeista. Thales, joka oli tällaisen filosofian perustaja, sanoi peruselementin olevan vesi. Siksi hän myös väitti maan olevan veden päällä. Hän ehkä omaksui tällaisen käsityksen, kun hän näki kaikkien ravinnon olevan kosteaa ja itse lämmönkin syntyvän kosteudesta ja säilyvän elossa sen kautta. Ja juuri se, mistä oliot syntyvät, on kaiken peruselementti. Tuon huomion johdosta hän siis omaksui tämän käsityksen ja myös siitä syystä, että kaikki siemenet ovat luonnostaan kosteita, ja vesi on kosteiden olioiden olemuksen peruselementti.

(Aristoteles, *Metafysiikka* I,3,983b8-28)

Thales pyrki joonialaiselle luonnonfilosofialle tyypilliseen tapaan selittämään todellisuuden moninaisuutta mahdollisimman harvojen pysyvien piirteiden, alkuperuselementtien perusteella. Alkuperuselementti on aineellinen kaiken muutoksen lähde.

Anaksimandros eli Miletoksessa n. v. 610-540 eKr.

Hän sanoi, että perusta ja elementti on rajaton, eikä hän erottanut ilmaa, vettä tai jotakin muuta. Hänen mukaansa osat muuttuvat, mutta kokonaisuus on muuttumaton. (Diogenes Laertios 2002, 55.)

Anaksimandrokselle asioiden perusta (*arkhē*) on siis rajaton (*to apeiron*), ja sinne, mistä asiat syntyvät, ne myös välttämättä häviävät, sillä ne kärsivät oikeudenmukaisen rangaistuksen ja maksavat takaisin toistensa rikkomuksista ajan (*khronos*) järjestyksen mukaisesti.

Anaksimenes eli Miletoksessa ja oli Anaksimandroksen oppilas

Hänen mukaansa perusta on ilma ja rajaton. Tähdet eivät liiku maan alle, vaan ne liikkuvat sen ympäri. (Diogenes Laertios 2002, 55.)

Kaikki oleva – myös tuli ja vesi – muodostuu Anaksimeneen mukaan ilman ohentumista ja tihentymistä; elämä ja sielukin syntyvät erityiseen tilaan joutuneesta ilmasta.

Herakleitos eli Efesoksessa n. 500 eKr.

Kaksi hänen oppiaan ovat yleisesti tunnettuja: 1) ”kaikki virtaa”: maailma on tapahtumien virta, jossa ei ole mitään pysyvyyttä (”Me astumme emmekä astu samaan virtaan”, ”Ei voida astua kahta kertaa samaan virtaan”) ja 2) kaikki oliot ovat peräisin tulesta, kaikki muut aineet ovat peräisin tulesta ja tuleen ne palaavat:

Tätä kaikille samaa maailmanjärjestystä ei ole luonut kukaan jumala tai ihminen; se on ollut ikiajoista on nyt ja tulee iäti olemaan aina elävä tuli, joka leimahtaa ilmi mitan mukaan ja sammuu mitan mukaan. (Aspelin 1977, 33.)

Siis maailmankaikkeutta määräävät ikuiset lait, jotka osoittavat jokaiselle oliolle sille kuuluvan paikan suuressa kokonaisuudessa ja estävät kaiken poikkeamisen oikeista mittasuhteista.

Parmenides eli n. 500 eKr. Italian etelärannikolla sijaitsevassa Eleassa.

Hän oli ensimmäinen, joka esitti maan olevan pallonmuotoinen ja sijaitsevan keskustassa. Elementtejä on kaksi, tuli ja maa, ja edellinen näistä vastaa käsityöläistä ja jälkimmäinen hänen ainettaan. Ihmisten synty on alun perin auringosta. Lämmin ja kylmä ovat syitä, joista kaikki on muodostunut. ... Parmenides sanoi, että filosofia on kahtalaista: toinen liittyy totuuteen ja toinen luuloon. Niinpä hän kirjoittaa jossakin:

*Kaikki on sinun selvitettävä,  
sekä vakuuttavan Totuuden järkkymätön sydän että  
ihmisten luulot, joihin ei ole luottaminen.*

(Diogenes Laertios 2002, 335-336.)

Luonnonfilosofian lähtökohtana oli ollut kaksi kokemuksen vahvistamaa periaatetta: 1) on äärettömän paljon erilaisia olioita ja 2) kaikki oliot muuttuvat lakkaamatta. Elealaisilla tekivät kritiikissään moneuden ja muutoksen käsitteet kyseenalaisiksi. Parmenides päätyi esittämään, että oleva ei ole syntynyt ja ettei se voi hävitä, että se on liikkumaton ja muuttumaton.

Pythagoralainen koulukunta kukoisti Etelä-Italiassa 400-luvulla eKr. (Perustaja Pythagoras)

Samaan aikaan ja näitä aikaisemminkin niin kutsutut pythagoralaiset ryhtyivät harjoittamaan matematiikkaa ja ensimmäisinä edistivät sitä. Siinä harjaantuneina he päätyivät uskomaan, että sen periaatteet ovat kaikkien olevien periaatteita. Koska luvut ovat näistä periaatteista luonnostaan ensimmäisiä ja koska he ajattelivat havaitsevansa niissä, paremmin kuin tulesa, maassa ja vedessä, useita samankaltaisuuksia suhteessa olemassa oleviin ja syntyviin asioihin – siten, että tietty lukujen ominaisuus on oikeudenmukaisuus, toinen sielu ja järki ja kolmas sopiva hetki, ja samoin melkein kaikki muukin on luvuilla ilmaistavissa – ja koska he huomasivat, että musiikin harmonian ominaisuudet ja suhteet ovat ilmaistavissa lukuina, ja koska muut oliot näyttivät koko luontonsa puolesta muodostuneen lukujen mukaisesti ja luvut näyttivät olevan ensimmäisiä luonnon kokonaisuudessa, he olettivat, että lukujen elementit ovat kaikkien asioiden elementtejä ja että koko maailmankaikkeus on harmonia ja luku.

(*Metafysiikka* I,5,985b23-986a3)

[Pythagoralaisten] johtavana ajatuksena oli siis idea, että kaikki voidaan ilmaista luvuilla. Ei ainoastaan geometrisilla suhteilla vaan myös sävelten suhteella toisiinsa. ... Ja tämä idea johti aritmeettiseen metafysiikkaan, jossa olioiden alkuperä (*arkhe*) nähtiin luvuissa. ...

Pythagoralaisen ajatuksista löydämme alkeellisessa muodossa sen tieteenideaalin, jonka Galilei myöhemmin formuloi: että mitataan kaikki, mikä voidaan mitata, ja tehdään mitattavaksi kaikki, mitä ei vielä voida mitata.

(Aspelin 1977, 36-37.)



Parmenideen ongelmalle ("oleva on muuttumaton") yritettiin löytää ratkaisu hylkäämällä näkemys yhdestä perusaineesta:

Empedokles eli Sisilian Akragaassa n. 490-430

Hänen näkemyksensä ovat tällaiset. Elementtejä on neljä, tuli, vesi, maa ja ilma. Rakkaus yhdistää nämä ja Riita erottaa ne. Hän sanoo:

*Loistava Zeus ja elämää antava Hera ja Aïdoneus  
sekä Nestis, joka kyynelillä kastaa kuolevaisten lähteen.*

Zeuksella hän tarkoittaa tulta, Heralla maata, Aïdoneuksella ilmaa ja Nestiksellä vettä.

"Nämä eivät koskaan", hän sanoo, "lakkaa alati muuttumasta", ikään kuin tällainen järjestys olisi ikuinen. Hän jatkaa:

*Toisella aikaa Rakkaus liittää yhdeksi kaikki,  
toisella aikaa taas kaikki erkanee Riidan myötä.*

(Diogenes Laertios 2002, 322.)

Anaksagoras (n. 500-428) toi joonialaisen luonnonfilosofian Ateenaan

... pyrki pelastamaan kaikkeuden palloon sisältyvän aistimaailman monivivahteisuuden partikkeliteoriansa avulla ja tavallaan ennakoiti atomistista ajattelua. Partikkelit, tai ehkä pikemminkin 'ainesosat', ovat rajattomasti jaettavia ja Anaksagoras sanoo niiden edustavan samanaikaisesti kaikkia aineita ja olioita.

(Thesleff & Sihvola 1994, 59.)

Atomistit: Leukippos ja Demokritos elivät 400-luvun jälkipuoliskolla Etelä-Thraakiassa

Kaikkeuden perustoja ovat atomit ja tyhjä tila, ja kaikki muu on olemassa vain ihmisten uskomuksissa. Maailmoja on rajattomasti ja ne ovat syntyviä ja häviäviä. Mikään ei synny siitä, mitä ei ole, eikä häviä siihen, mitä ei ole. Atomeja on kooltaan ja lukumäärältään äärettömästi, ja ne kulkeutuvat kaikkeudessa pyörteenä ja synnyttävät siten kaikki yhdistelmät, tulen, veden, ilman ja maan. Nämäkin ovat nimittäin tiettyjen atomien järjestymiä. Kiinteytensä vuoksi ne ovat vaikutuksen ja muutoksen ulottumattomissa. Aurinko ja kuu ovat muodostuneet tällaisista sileistä ja pyöreistä massoista ja samoin sielu, joka on sama kuin järki. Me näemme, koska kuvat törmäävät meihin.

(Diogenes Laertios 2002, 343 [Demokritoksen näkemyksestä].)

#### 1.4 Ensimmäisistä tieteellisistä teorioista

"Quod erat demonstrandum" ("Mikä oli todistettava")

Lyhennetään QED (ja vastaavasti MOT).

Eukleides, *Elementa* (kr. *Stoikheia*) (n. 300 eKr.),  
kirja 1, lause 5 ja myöhemmin

Ensimmäisten näkemysten mukaan universumi oli puolipallon muotoinen siten, että litteän maan yllä on puolipallon muotoinen taivas. Ei ollut mitään käsitystä siitä, että maan alla olisi mitään (kuten taivaan toinen puolisko), eikä kysymystä siitä, tarvitsiko maa jotain tukea pysyäkseen paikoillaan.

Thales (edellinen kerta) teki käsitteellisen harppauksen eteenpäin nähdessään ongelman siinä, mitä maan alla saattaisi olla. Hän kuvasi ensimmäisenä pallonmuotoisen kosmoksen vastakohtana puolipallon muotoiselle.

Aristoteleen kritiikki, jonka epäilemättä olivat esittäneet jo monet ennen häntä: tiedämme, että vedelläkin on paino, miksi se ei putoa?

Seuraava kosmologiasukupolvi esitti, että maata kannatti ilma, joka arkikokemuksemme perusteella ei putoa minnekään:

Anaksimenes, Anaksagoras ja Demokritos väittävät, että maan laakeus on sen paikallaan pysymisen syynä. He sanovat, ettei se halkaise allaan olevaa ilmaa, vaan levittyy sen päälle kuin kansi, kuten laakeiden kappaleiden nähdään tekevän.

Aristoteles, *Taivaasta II*, 13 294b13-16.

Niinpä maa liikkuu ilmassa kuten frisbee. Nykyihmisistä nämä teoriat saattavat tuntua vähän oudoilta, mutta kreikkalaisilla oli hyvin rajalliset resurssit eikä heillä ollut käsitystä gravitaatiosta.

On kuitenkin joitakin, jotka väittävät maan pysyvän paikallaan "tasapainon" vuoksi, esimerkiksi Anaksimandros varhaisten filosofien joukossa. He ajattelevat, että se, mikä sijaitsee keskuksessa ja on samassa suhteessa ääripäihin, ei ole taipuvainen liikkumaan yhteen suuntaan pikemmin kuin toiseen, ei ylös, alas eikä sivullekaan. Sen on mahdotonta liikkua samanaikaisesti vastakkaisiin suuntiin, joten se jää välttämättä paikalleen.

Aristoteles, *Taivaasta II*, 13 295b10-16.

Siis maa oli keskellä ja liikkumaton ja pysyy sellaisena ilman tukea. Edelleen maan uskottiin olevan pallonmuotoinen. Jokainen sivistynyt ihminen antiikin Kreikassa uskoi, että maa on pyöreä eikä litteä. Perustelivat havainnoilla: maan varjo kuun pinnalla kuunpimennyksen aikana, etelämmässä eri tähtiä näkyy yötaivaalla, merellä laivat ilmestyvät horisontin yläpuolelle.

Miksi pysymme pyöreän maan pinnalla? Samanlaiset asiat vetävät toisiaan puoleensa ja koska me koostumme samanlaisesta aineesta kuin maa (radikaali näkemys!) me pysymme kiinni siinä.

Kosmogonia, elämän synty: Kosmoksen ja elämän synty esitetään näin ensimmäistä kertaa täysin luonnollisilla käsitteillä (vrt. Egypti). Kreikkalaiset kiinnostuivat siitä materiasta, aineesta, aineksesta, josta maailma koostuu, ja he muodostivat käsityksensä luonnollisin käsittein.

Empedokles (492 – 432eKr.): elementit maa, vesi, ilma ja tuli – näkemys joka vakiintui kreikkalaisessa ajattelussa. Ei pidä ymmärtää kirjaimellisesti: kiinteyden, nestemäisyyden, kaasumaisuuden ja tulisuuden periaatteet. Kreikkalaiset olivat ennenkin luokitelleet aineet näihin neljään lajiin, mutta Empedokles otti sen rohkean harppauksen, että nämä olivat neljä perusalkuainetta. Hän väitti myös, että fysikaaliset esineet muodostuvat näiden alkuaineiden kiinteistä mittasuhteista, esim. metalli.

(Vasta 1700-luvulla osoitettiin, että ilma ja vesi eivät ole alkuaineita. Vasta 1800-luvulla hylättiin se näkemys, että tuli tai kuumuus oli jonkinlainen substanssi.)

### *Antiikin lääkärintaidosta*

Hippokrates (n. 460-370 eKr.) n. 400 eKr. 'pyhästä taudista' eli epilepsiasta:

En usko, että niin sanottu 'pyhä tauti' on sen enemmän pyhä tai jumalallinen kuin muutkaan sairaudet. Päinvastoin, sillä on omat erikoisominaisuutensa ja määrätty syy. ... Kaikki taudit ovat yhtä jumalallisia ja täysin inhimillisiä. Jokaisella on oma luonteensa ja tyyppinsä eikä missään niistä ole mitään sinänsä käsittämätöntä eikä sellaista, mihin ei hoidolla voida vaikuttaa.

Merkittävää optimismia, joka oli tyypillistä varhaisille kreikkalaisille ajattelijoille: kaikilla taudeilla on syynsä, niissä ei ole mitään mitä ei voisi käsittää ja mitä ei voisi parantaa.

Hyökkäys yleisesti yliluonnollista ja magiaa vastaan: niitä ei kerta kaikkiaan ollut olemassa, kaikki taikurit ovat huijareita.

### *Elealaiset ja atomistit*

Kuten viimeksi jo nähtiin kreikkalaiset alkoivat pohdiskella abstraktimpiakin tieteellisiä kysymyksiä

Esim. elealaiset Parmenides n. 450 eKr. ja Zenon - oleminen ja tuleminen: esim. Akhilleus ja kilpikonna.

Miksi antiikin atomismi on tärkeä: 1) modernin atomismin edeltäjä, 2) atomistit ensimmäisiä, jotka todella harkitsivat kaksitasoteoriaa maailmasta

Demokritos: "Puhumme makeudesta, karvaudesta, lämmöstä, kylmyydestä ja väreistä, mutta todellisuudessa on olemassa vain atomeja ja tyhjä tila."

Miksi Parmenideen ja Zenonin esittämät ongelmat huolestuttivat kreikkalaisia niin kovasti? Palaamme näkemykseen teorioista ja kreikkalaisten käsitykseen kosmoksesta. Kosmos oli täysin ymmärrettävä ihmisille. Tätä tarkoitusta varten tarvittiin johdonmukainen teoria muutoksesta. Parmenideen ja Zenonin esittämät paradoksit oli siis ratkaistava. Jos Parmenides ja Zenon olivat oikeassa muut olivat väärässä. Heidän näkemyksensä eivät sopineet yhteen muiden teorioiden kanssa ja näin ollen ne piti nujertaa. Tämä vaatimus yllytti kreikkalaiset kehittämään entistä monimutkaisempia käsityksiä aineesta ja muutoksesta.

### *Pythagoralaiset*

Vaikka Pythagoraan ajatukset vaikuttavat nykyisin oudoilta, hän teki tärkeän havainnon. ... monet luonnon tapahtumista todellakin perustuvat matematiikan lakeihin. Jos kaikki ei varsinaisesti olekaan lukuja, niin ainakin on mahdollista kuvata melkein kaikkea lukujen avulla. Luonnonilmiöitä on vaikea ymmärtää, jos et osaa lainkaan matematiikkaa. Kreikkalaiset filosofit oivalsivat tämän, ja sen vuoksi he olivat kiinnostuneita matematiikasta satojen vuosien ajan.

(Newth 2002, 20-22.)

Pythagoralaiset ... olivat ennen muuta tieteellisiä tutkijoita matematiikan ja astronomian alalla. Koulukunnan traditiota noudattaen he käsittivät universumin maailmaksi, joka rakentui aritmeettisista yksiköistä; näitä

vastaavat geometriselta näkökannalta pisteet, joilla on tietty, vaikka äärimmäisen minimaalinen koko. Viivat, pinnat ja kappaleet käsitetään pisteistä eli matemaattisista atomeista koostuneiksi. Luonnon eri aineet konstruointiin geometrisista kuvioista. Rakentaessaan Timaios-dialogissa elementit, tulen, veden, ilman ja maan, kolmioista, jotka yhdistetään eri tavoilla, Platon noudattaa pythagoralaisia ajatuslinjoja.

(Aspelin 1977, 48.)

### *Kreikkalaiset ja todistaminen*

Välttämättömyyden ja todistamisen käsitteet olivat keskeisiä antiikin luonnontieteiden ja matematiikan kehityksessä. Kiinnostus todistamiseen ja sen ongelmiin erotti kreikkalaiset matemaatikot heidän babylonialaisista ja egyptiläisistä edeltäjistään. Voidaan perustellusti kysyä, eivätkö tieteellisen todistamisen menetelmät syntyneet jo ennen Aristoteleen tieteellisen tiedon teoriaa.

Ensimmäisten tieteellisten teorioiden tarkastelussa hyppäämme hetkeksi sokraattisen kauden (Sokrates, Platon, Aristoteles) yli n. vuoteen 300 eaa. Näin saamme yhden esimerkin siitä suuresta vaikutuksesta, joka edeltävän sadan vuoden jaksolla tieteen kehitykseen oli. Sen jälkeen palaamme käsittelemään sokraattista kautta.

*Eukleides* (n. 300 eKr.)

Ks. erityisesti Lehti 1982.

”Eukleideen geometriaa voidaan ilman muuta pitää ihmiskunnan suurimpiin kuuluvana älyllisenä saavutuksena. Hänen pääteoksensa lienee Raamatun jälkeen luetuin ja eniten ulkoa opittu kirja länsimaiden historiassa. Jo ennen kirjapainotaidon keksimistä siitä laadittiin suuret määrät käsin kirjoitettuja jäljennöksiä ja painettuna siitä on ilmestynyt yli tuhat painosta kaikilla sivistyskielillä. Koulujemme geometrian oppikirjat perustuvat kaikki Eukleideen oppijärjestelmään ja niiden teksti on useilta kohdin sanatarkka käännös yli 2000 vuotta vanhasta kreikkalaisesta alkuteoksesta.”

Gerholm & Magnusson 1983, 24.

300-luvulla oli matematiikka, varsinkin geometria, kehittynyt ennen kaikkea Akatemian piirissä. Eukleideen *Elementa* (kr. *Stoikheia*) (n. 300 eKr.) ja muutamat muut tutkielmat kirjasivat pysyvästi tämän kehityksen tulokset. Geometrian alkeisoppikirjaksi tarkoitettussa *Elementassa* toteutetaan puhtaassa muodossa tieteen aksiomaattista ihannetta, jonka hahmottelun Aristoteles oli aloittanut *Toisessa analytiikassa*. Tieteen ideaalinen esitystapa on sen mukaan sellainen, jossa joukosta ilmeisinä totuuksina pidettyjä todistamattomia peruslauseita todistetaan tiettyjen päättelysääntöjen nojalla kaikki muut lauseet eli teoreemat.

Eukleideen geometria toteuttaa myöhemmässä tieteenteoriassa vaikutusvaltaista mallia, jonka mukaan kaikki tieteen todistettavat lauseet voidaan johtaa vain muutamasta aksiomasta: Eukleideen aksiomasysteemiin sisältyi viisi aksiomaa, viisi postulaattia ja 465 teoreemaa. (Aristoteles oli ajatellut, että useimmissa tieteissä aksiomia on hyvin paljon, suurin piirtein saman verran kuin teoreemojakin.)

*Elementassa* muotoillaan vuosisatoja ihanteena toiminut malli deduktiivisesta tieteestä. *Elementan* perusolettamukset ovat toisaalta *määritelmiä*, joissa luetellaan ne oliot ja käsitteet, joita sitten ryhdytään tarkastelemaan. Sitten annetaan näitä koskevia tosiksi oletettuja lauseita, jotka *Elementan* tapauksessa

jaetaan postulaatteihin ja aksiomiin eli ”yleisesti tunnettuihin”.

Esimerkkejä määritelmistä:

*Piste* on se, millä ei ole osia.

*Viiva* on pituus vailla leveyttä.

*Ympyrä* on tasokuvio, jonka sisältää sellainen viiva, että kaikki eräästä kuvion sisällä sijaitsevasta pisteestä viivalle piirretyt janat ovat keskenään yhtä suuria.

Postulaatit:

Postuloitakoon seuraavaa:

1. Suoran viivan voi piirtää mistä tahansa pisteestä mihin tahansa pisteeseen.
2. Äärellisen suoran viivan [=janan] voi jatkaa suoraksi viivaksi.
3. Ympyrän voi piirtää mikä tahansa piste keskuksena kuinka etäältä tahansa [ts. mielivaltaisen pisteen kautta].
4. Kaikki suorat kulmat ovat yhtä suuria.
5. Jos suora viiva kohtaa kaksi suoraa viivaa siten, että samalla puolella sijaitsevat sisäkulmat yhteensä ovat vähemmän kuin kaksi suoraa kulmaa, niin nämä kaksi suoraa jatkettuina kohtaavat sillä puolella, millä sijaitsevat ne kulmat, jotka ovat vähemmän kuin kaksi suoraa kulmaa.

Viidennen postulaatin eli *yhdensuuntaisuuspostulaatin* merkitys matematiikan historiassa on ollut suuri. Mutta eikö se ole pikemminkin todistusta kaipaava lause?

Aksioomat:

Yleiset huomiot:

1. Ne, jotka ovat saman kanssa yhtä suuria, ovat keskenään yhtä suuria.
2. Jos yhtä suuriin lisätään yhtä suuret, saadaan yhtä suuret.
3. Jos yhtä suurista vähennetään yhtä suuret, saadaan yhtä suuret.
4. Ne, jotka yhtyvät (sijainniltaan) keskenään, ovat keskenään yhtä suuret.
5. Kokonaisuus on osaansa suurempi.

Esimerkkejä lauseista:

Konstruoitava tasasivuinen kolmio annetulle äärelliselle suoralle janalle.

Suorakulmaisessa kolmiossa suoraa kulmaa vastassa olevan sivun neliö on yhtä suuri kuin suoran kulman viereisten sivujen neliöt yhteensä.