

# Miten Machin ajatukset ovat toteutuneet tieteen kehittyessä?

Tuomo Suntola

Esityksessäni tarkastelen Machin luonnonfilosofiaa suhteessa tieteen kehitykseen ja siinä tehtyihin valintoihin. Antiikin luonnonfilosofiasta välittyi pyrkimys ensisijaisten luonnonlakien löytämiseen (Thales, Anaksimandros, Pythagoras, Herakleitos, Aristoteles...). Toisaalta antiikin tähtitiede nojautui havaintojen suoraan matemaattiseen kuvakseen mikä johti mm. planeettojen liikkeen kuvaamiseen monimutkaisen episyklijärjestelmän avulla (Eudoksos,...Ptolemaios). Pitkän hiljaisen kauden jälkeen uusi askel tieteen kehityksessä käynnistyi Kopernikuksen valankumouksesta, joka mahdollisti aurinkokunnan kuvaamisen yksinkertaisten luonnonlakien avulla, mikä käynnisti matemaattisen fysiikan voimakkaan kehittymisen (Kopernikus, Kepler, Newton, Leibniz, Laplace...). 1800-luvun lopulla käynnistynyt seuraava kehitysvaihe johti suhteellisuusteoriaan ja kvanttimekaniikkaan, ja samalla havaintokeskeisyyden uuteen nousuun (Maxwell, Boltzman, Mach, Planck, Einstein, Bohr, de Broglie, ...). Vieläkö Machin periaate on kunniassa? Onko positivismi johtanut havaintojen tarkkaan kuvaamiseen kokonaisuuden hämärtyksen kustannuksella?



## Antiikin luonnonfilosofia /empiirinen tiede

### Antiikin metafysiikka (Aristoteles)

Ihmisellä on luonnostaan halu tietää. Viisaus merkitsee ymmärrystä ensisijaisista syistä ja periaatteista.

Tarkimpia ovat tieteet, jotka voidaan johtaa primäärisistä luonnonlaeista mahdollisimman vähin lisäpostulaatein.

Ernst Mach:

“The goal which physical science has set itself is the simplest and most economical abstract expression of facts.”

“Fysikaalinen tiede on asettanut päämääräkseen yksinkertaisimman ja taloudellisimman tavan tosiasioiden abstraktiin esittämiseen”

### Empiirinen tiede:

Teoriat perustuvat ensisijaisesti havaintojen kuvaukseen.

Tulokset pyritään ilmaisemaan matemaattisessa muodossa ilmiöiden havaittuja säännönmukaisuuksia esittävinä lakeina, joiden avulla voidaan tehdä ilmiötä koskevia kvantitatiivisia ennusteita.

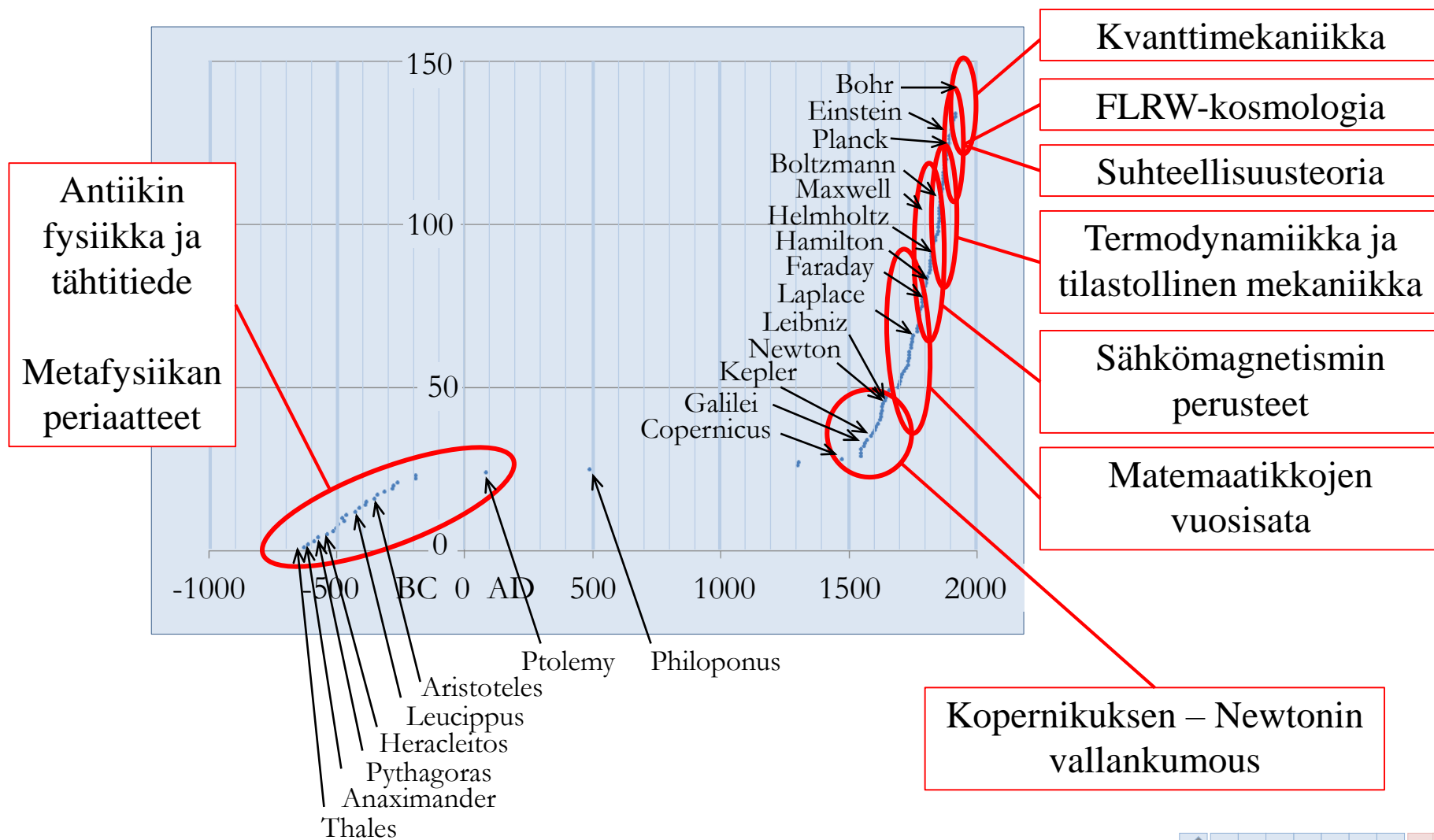
### Machin fysiikka

Fysiikan tulee perustua vain suoraan havaittaviin ilmiöihin.

Sen tulee perustua suhteelliseen liikkeeseen ja irrottautua absoluuttisen ajan ja avaruuden käsitteistä. Ilmiö, joka näyttäisi liittyvän absoluuttiseen aikaan ja avaruuteen, kuten inertia ja keskipakoisvoima, tulee nähdä seurauksena aineen laaja-alaisesta jakautumasta universumissa.

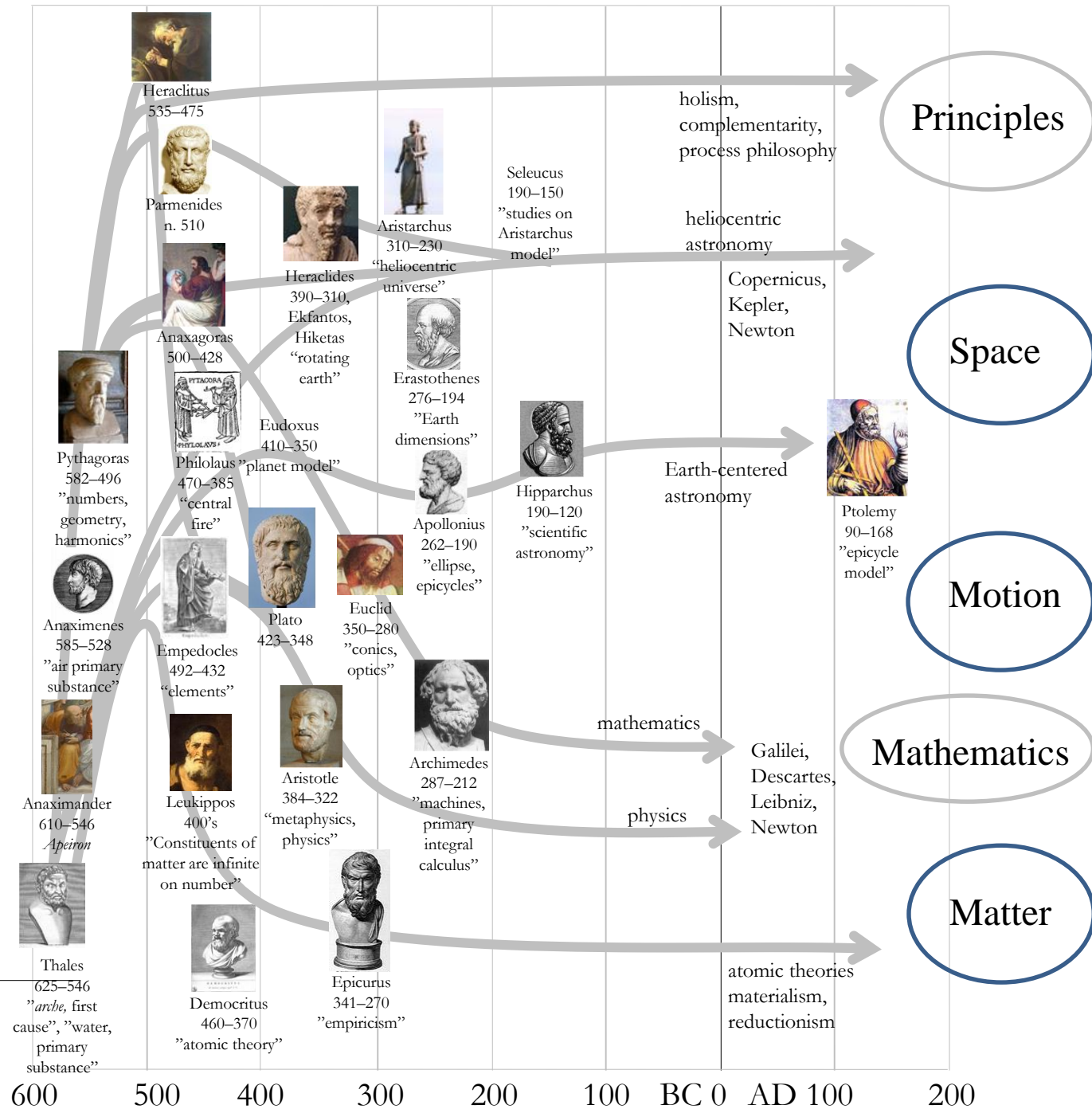
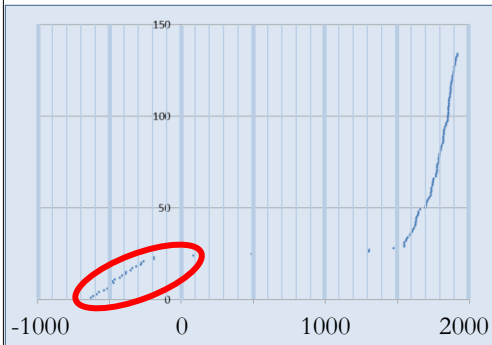


# Luonnontieteen kehitysjaksoja

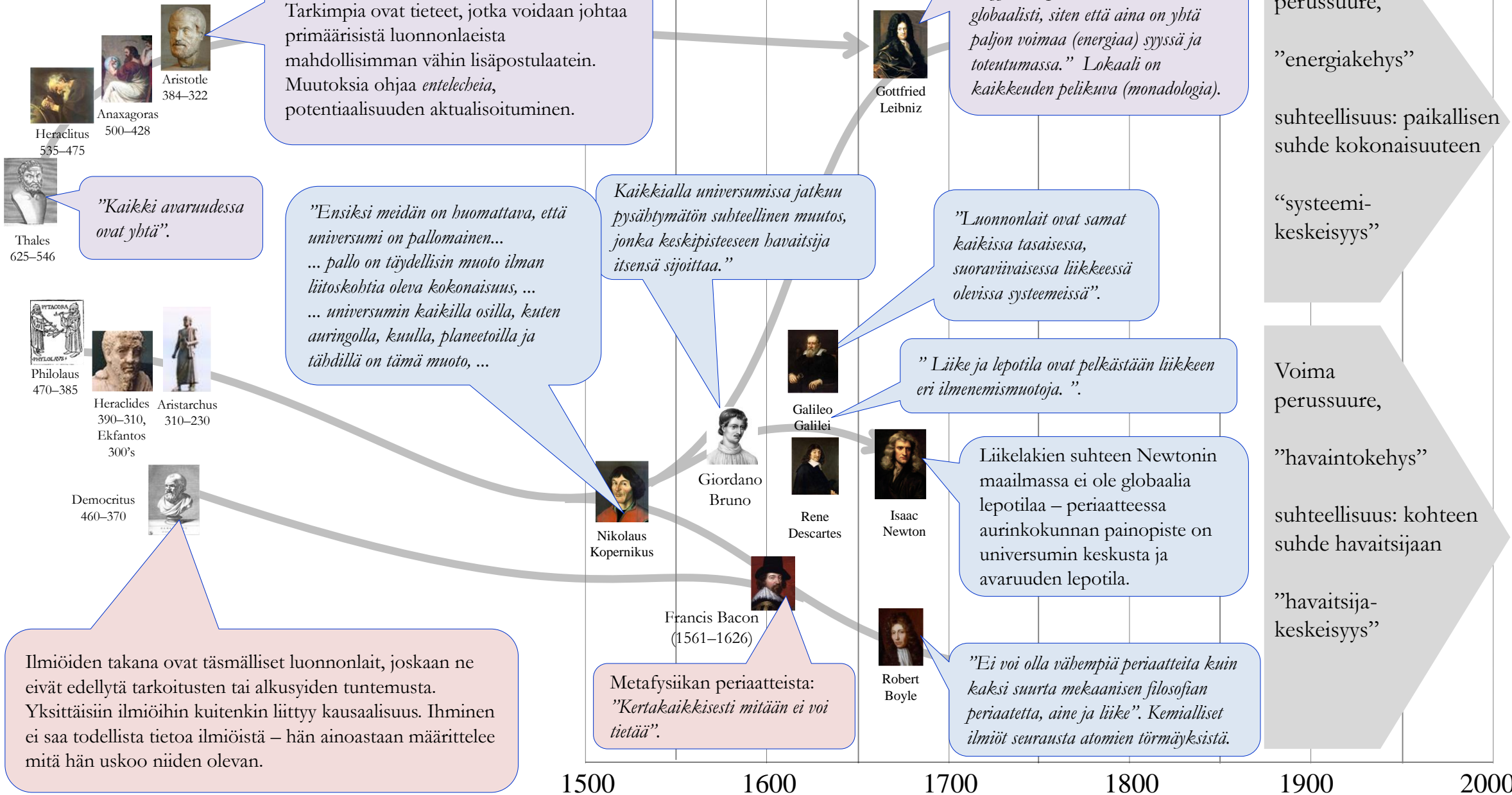


# Antique inheritance

Search for the laws of nature and understanding of space, matter, and motion



# Metafysiikasta empirismiin



Heraclitus 535–475  
 Anaxagoras 500–428  
 Aristotle 384–322

Tarkimpia ovat tieteet, jotka voidaan johtaa primäärisistä luonnonlaeista mahdollisimman vähin lisäpostulaatein. Muutoksia ohjaa *entelecheia*, potentiaalisuuden aktualisoituminen.

Thales 625–546  
 ”Kaikki avarudessa ovat yhtä”.

”Ensiksi meidän on huomattava, että universumi on pallomainen...  
 ... pallo on täydellisin muoto ilman liitoskohtia oleva kokonaisuus, ...  
 ... universumin kaikilla osilla, kuten auringolla, kuulla, planeetoilla ja tähdillä on tämä muoto, ...

Philolaus 470–385  
 Heraclides 390–310, Ekfantos 300’s  
 Aristarchus 310–230

Kaikkialla universumissa jatkuu pysähtymätön subteellinen muutos, jonka keskipisteeseen havaitsija itsensä sijoittaa.”

Gottfried Leibniz  
 ”Maailman koko voima (energia) säilyy sekä paikallisesti että globaalisti, siten että aina on yhtä paljon voimaa (energiaa) syystä ja toteutumassa.” Lokaali on kaikkeuden pelikuva (monadologia).

Energia perussuure,  
 ”energiakehys”  
 suhteellisuus: paikallisen suhde kokonaisuuteen  
 “systeemi-keskeisyys”

Ilmiöiden takana ovat täsmälliset luonnonlait, joskaan ne eivät edellytä tarkoitusten tai alkusyiden tuntemusta. Yksittäisiin ilmiöihin kuitenkin liittyy kausaalisuus. Ihminen ei saa todellista tietoa ilmiöistä – hän ainoastaan määrittelee mitä hän uskoo niiden olevan.

Nikolaus Kopernikus  
 Giordano Bruno  
 Galileo Galilei  
 Rene Descartes

”Luonnonlait ovat samat kaikissa tasaisessa, suoraviivaisessa liikkeessä olevissa systeemeissä”.

”Liike ja lepotila ovat pelkästään liikkeen eri ilmenemismuotoja.”.

Voima perussuure,  
 ”havaintokehys”  
 suhteellisuus: kohteen suhde havaitsijaan  
 ”havaitsija-keskeisyys”

Francis Bacon (1561–1626)  
 Metafysiikan periaatteista:  
 ”Kertakaikkaisesti mitään ei voi tietää”.

Isaac Newton  
 Liikelakien suhteen Newtonin maailmassa ei ole globaalia lepotilaa – periaatteessa aurinkokunnan painopiste on universumin keskusta ja avaruuden lepotila.

Robert Boyle  
 ”Ei voi olla vähempiä periaatteita kuin kaksi suurta mekaanisen filosofian periaatetta, aine ja liike”. Kemialliset ilmiöt seurausta atomien törmäyksistä.

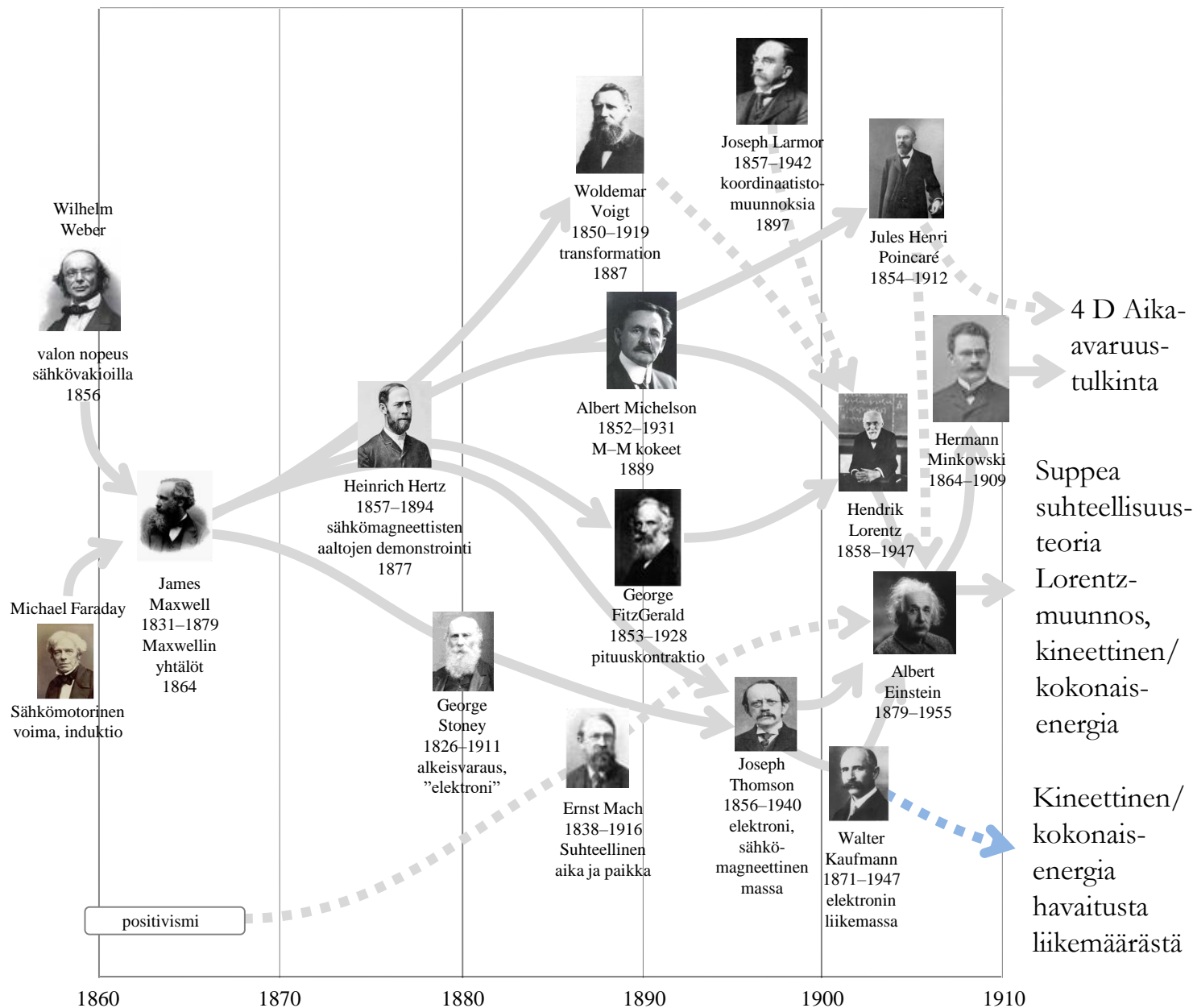
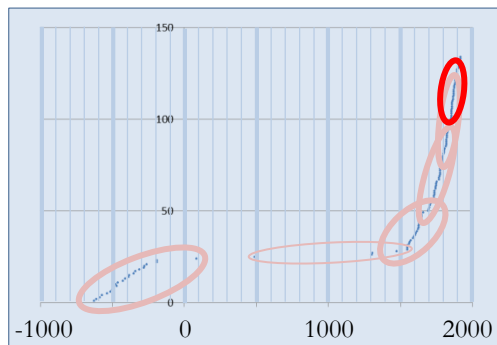
1500 1600 1700 1800 1900 2000

# Maxwellin yhtälöistä suppeaan suhteellisuusteoriaan

Sähkömagneettisen  
säteilyn ja valon yhteys

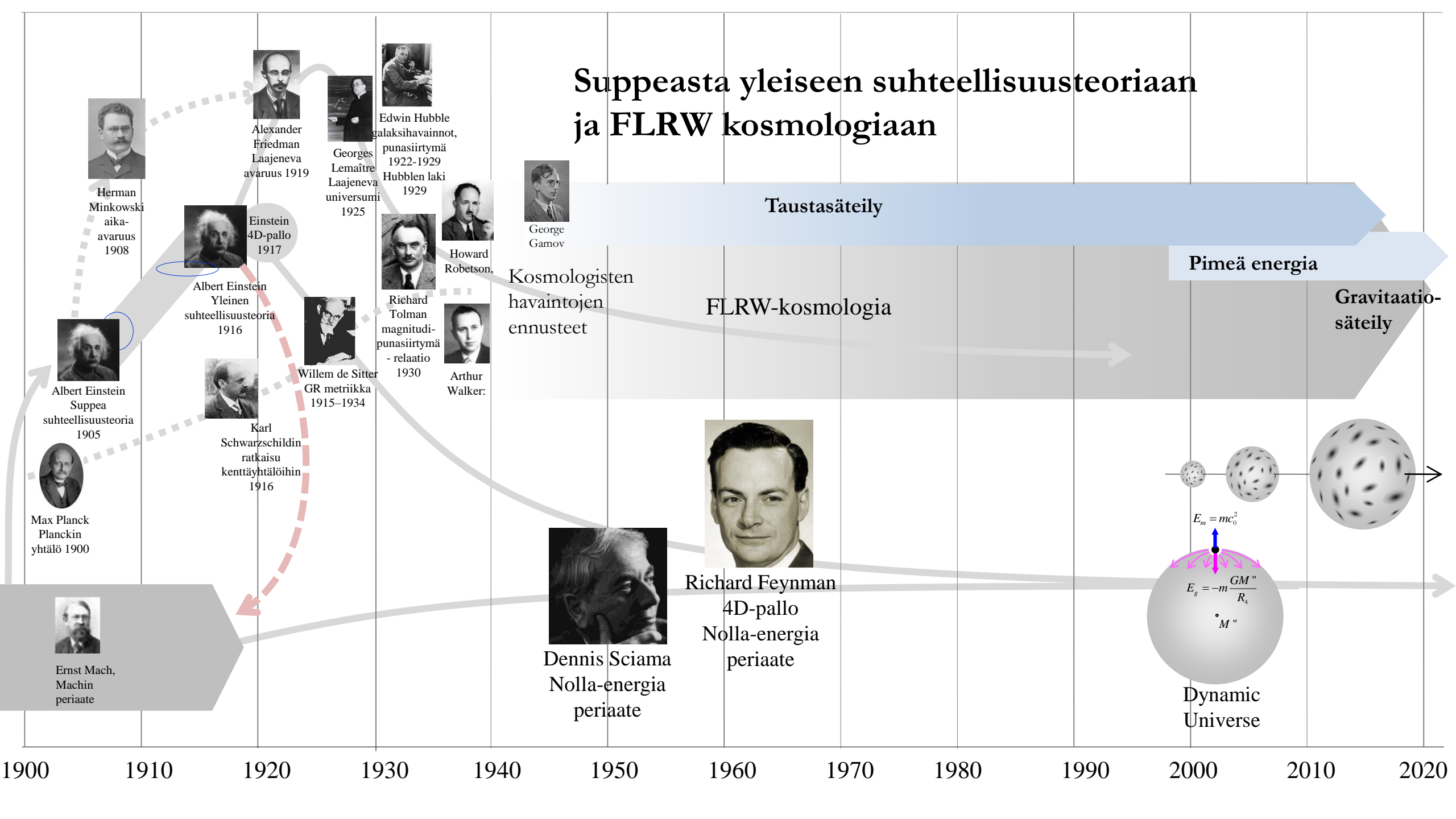
Valon nopeuden  
havaitseminen

Luonnonlakien  
ja todellisuuskuvan  
uudelleenarviointi

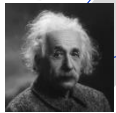




# Suppeasta yleiseen suhteellisuusteoriaan ja FLRW kosmologiaan



Herman Minkowski  
aika-avaruus  
1908



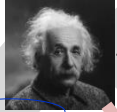
Albert Einstein  
Suppea suhteellisuusteoria  
1905



Max Planck  
Planckin yhtälö  
1900



Ernst Mach,  
Machin periaate



Albert Einstein  
Yleinen suhteellisuusteoria  
1916



Karl Schwarzschildin  
ratkaisu kenttäyhtälöihin  
1916



Alexander Friedman  
Laajeneva avaruus  
1919



Einstein  
4D-pallo  
1917



Willem de Sitter  
GR metriikka  
1915–1934



Georges Lemaître  
Laajeneva universumi  
1925



Edwin Hubble  
galaksihavainnot,  
punasiirtymä  
1922-1929  
Hubble'n laki  
1929



Richard Tolman  
magnitudi-punasiirtymä-  
relaatio  
1930



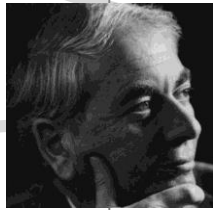
Howard Robertson



Arthur Walker



George Gamov



Dennis Sciama  
Nolla-energia periaate



Richard Feynman  
4D-pallo  
Nolla-energia periaate

Taustasäteily

FLRW-kosmologia

Pimeä energia

Gravitatio-säteily

$$E_m = mc_0^2$$

$$E_g = -m \frac{GM''}{R_4}$$

M''

Dynamic Universe

1900

1910

1920

1930

1940

1950

1960

1970

1980

1990

2000

2010

2020