Mitä aika on - tietääkö kukaan?

Aalto-yliopisto Töölö
Helsinki
2.11.2021

Esa Soini

Esityksen sisältö

Käsityksiä ajasta

- Filosofien, teologin ja fyysikoiden käsityksiä siitä, mitä aika oikein on

Kysymyksiä ajasta

- Onko ajalla alku ja loppu?
- Voiko ajassa matkustaa?
- Miksi muistamme menneisyyden, mutta emme tulevaisuutta?

Ajan luonteen tutkiminen

- Onko aika vain illuusio?
- Entropia ja ajan nuoli

Mitä aika oikein on?

- Esityksen pitäjän käsitys ajasta

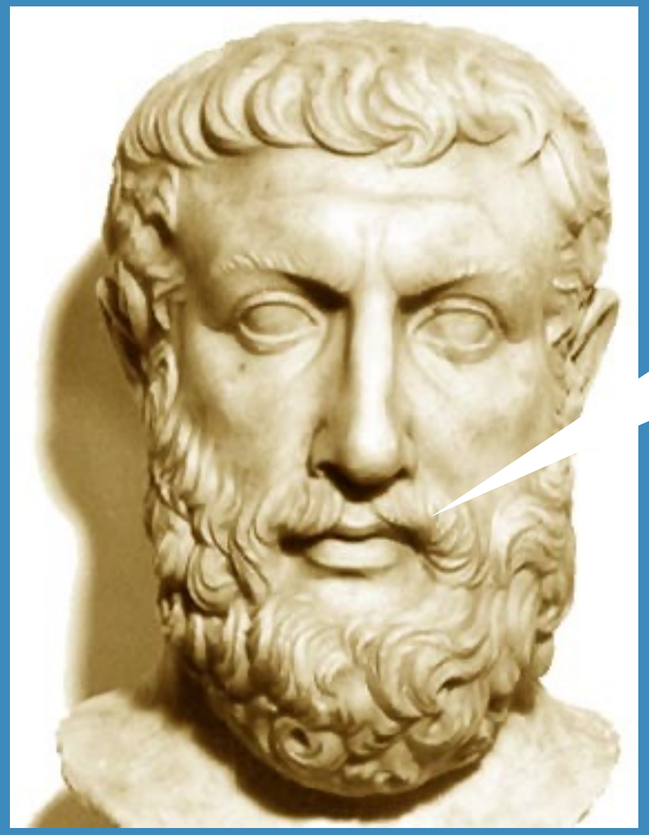
Ajasta poistuneiden käsityksiä ajasta

Antiikin filosofien mietteitä

Herakleitos (n. 535 - 475 eaa.)

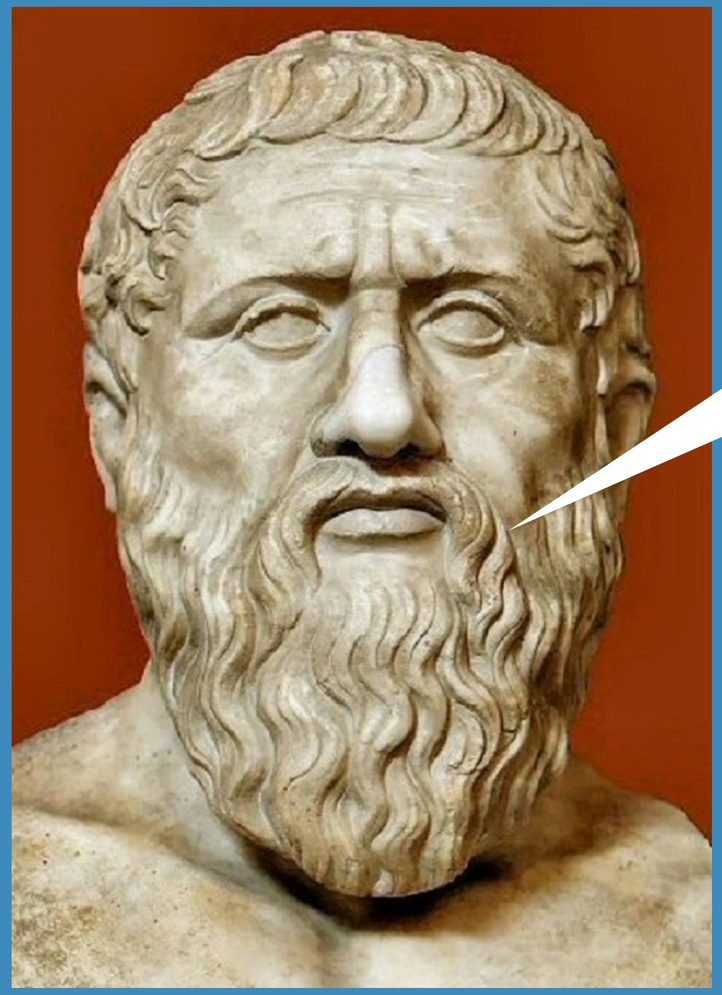
Kaikki on peräisin tulesta ja tuleen ne palaavat.
Kaikki muuttuu eikä mikään pysy paikallaan.
Et voi astua samaan virtaan kahdesti.
Kaikki virtaa (panta rhei).

Parmenides (n. 515 - 445 eaa.)



Mikään ei muutu, on vain pysyvä ykseys.
Muutos on vain aistiharhaa.
Mitään ei synny tyhjästä, kaikki oleva on aina ollut.

Platon (n. 427-347 eaa.)



**Todellisuus on ikuinen ja ajaton.
Kaikki muutos on näennäistä.
Aika on liikkuva kuva ikuisuuden
liikkumattomuudesta.**

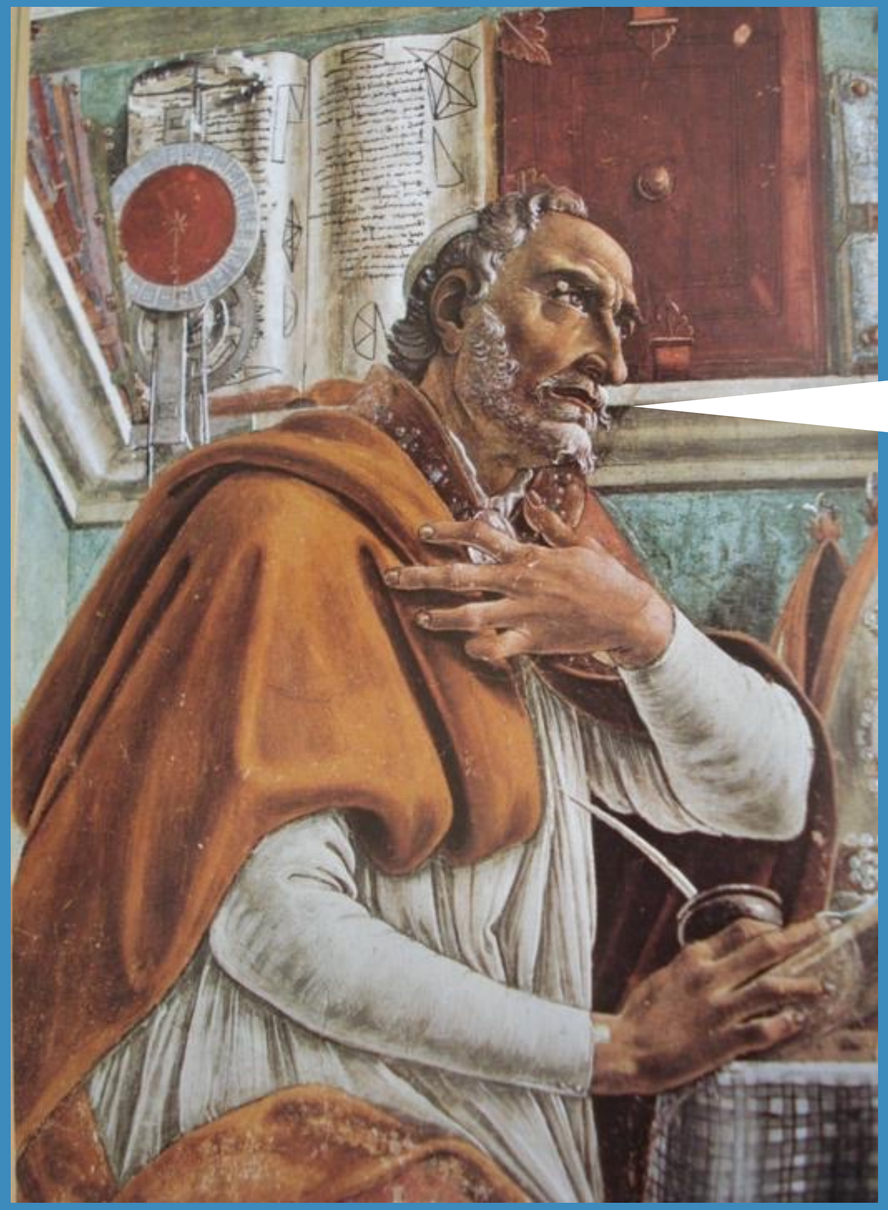
Aristoteles (n. 384 - 322 eaa.)

Aika on muutoksen mitta.

Jos mikään ei muutu, aikaa ei ole.

Usein (kreikkalaiset) filosofit ottivat asioihin täysin päinvastaisen kannan kuin edeltäjänsä.

Kirkkoisä Augustinus (354 - 430 jaa.)



On kolme aikaa: menneen nykyisyys, nykyisen nykyisyys ja tulevan nykyisyys. Sillä nämä kolme asiaa ovat jollakin tavalla sielussa, muualla en niitä näe. Menneen nykyisyys on muisti, nykyisen nykyisyys on havainto ja tulevan nykyisyys odotus.

Tieteellinen vallankumous ja käsitys ajasta

Aristoteleen perinnön murtuminen - havainnot ja mittaukset

Nikolaus Kopernikus (1473 - 1543)

- De revolutionibus orbium coelestium (1543): Aurinkokeskinen maailmankuva

Johannes Kepler (1571 - 1630)

- Astronomia Nova (1609) ja Harmonices Mundi (1619)
- Selittävät planeettojen liikkeet kiertoradalla auringon ympäri

Galileo Galilei (1564 - 1642)

- Kappaleiden liikkeen matematiikka (Klassinen mekaniikka)
- Inertiaperiaate: Ilman häirintää kappale jatkaa samaan suuntaan tasaiselle nopeudella
- Invarianssi: Fysiikan lait ovat samat kaikissa suoraan tasaisella vauhdilla liikkuvassa systeemissä

René Descartes (1596–1650)

- Traité du monde et de la lumière (1677)
- Valo etenee kappaleesta joka suuntaan äärettömällä nopeudella äärettömyyteen
- Inertialaki (sama kuin Newtonilla, joka kopioi tämän)

Isaac Newton (1643 - 1727)

Absoluuttinen, tosi ja matemaattinen aika kuluu tasaisesti riippumatta mistään ulkoisesta; suhteellinen, näennäinen ja yleinen aika on jonkinlainen havaittava ja ulkoinen liikkeeseen perustuva keston mitta, jota yleisesti käytetään todellisen ajan sijasta.

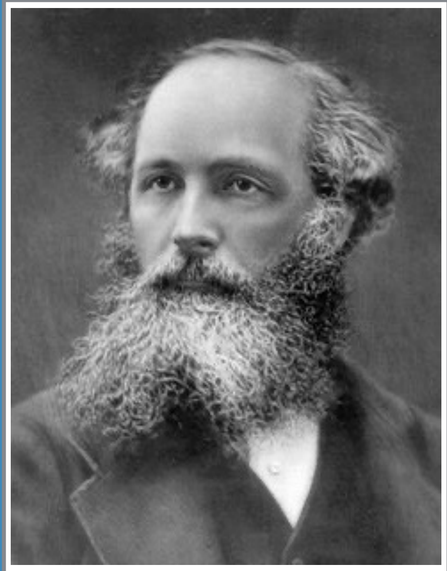
Gottfried Leibniz (1646 - 1716)

Aika ja avaruus ovat suhteellisia ja ne riippuvat tapahtumista.

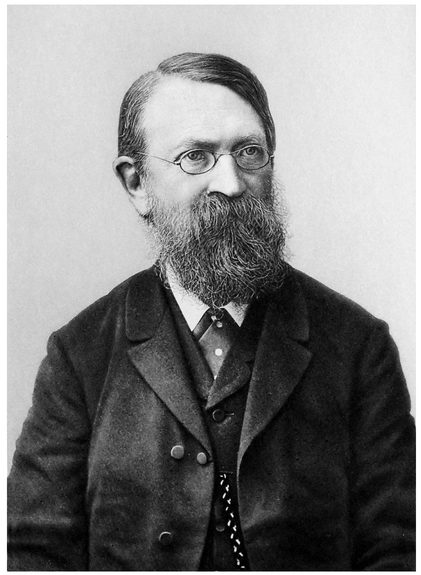
Absoluuttista aikaa ja avaruutta ei ole.

Newtonilaisen maailmankuvan murtuminen - uusi käsitys ajasta ja avaruudesta

Tie uuteen fysiikkaan ja aikakäsitykseen 1800-luvulla



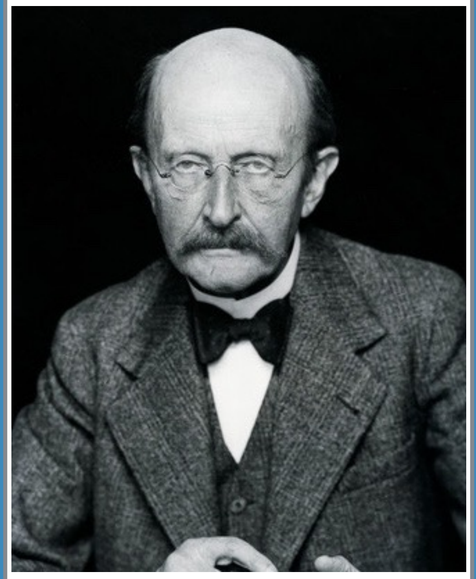
James Clerk Maxwell



Ernst Mach

Ludwig Boltzmann

Henri Poincaré



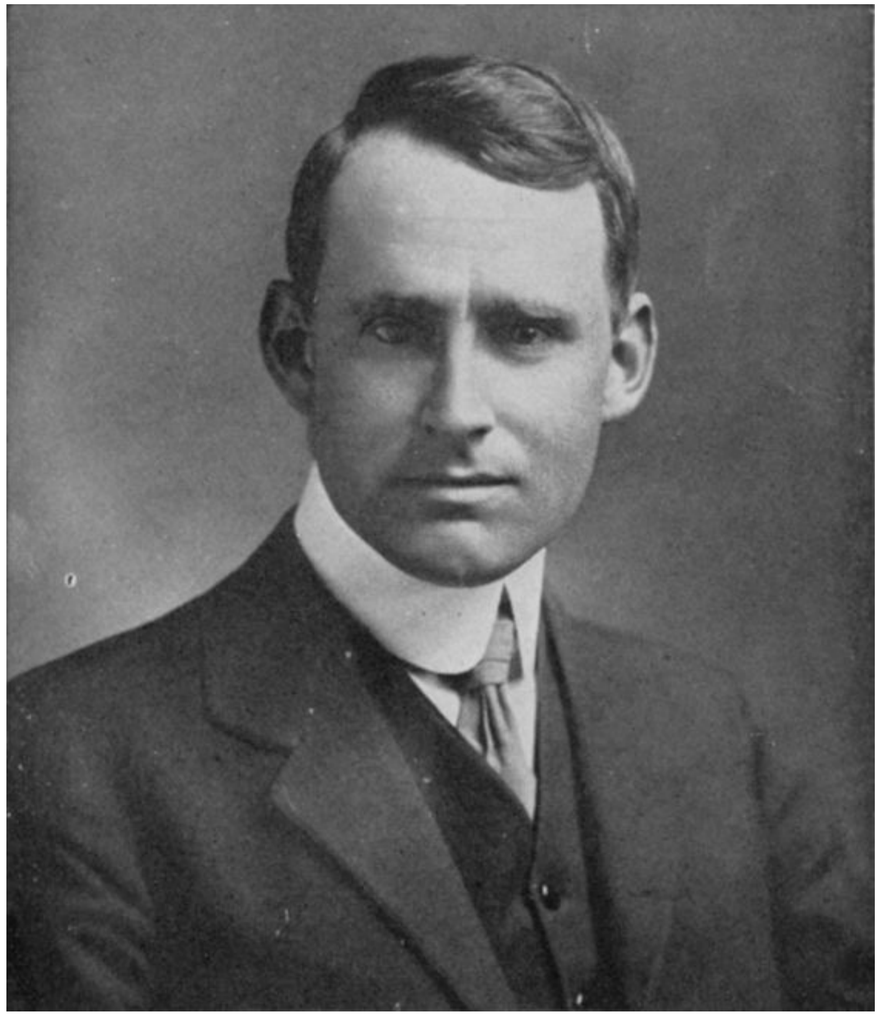
Max Planck

Albert Einstein (1879 - 1955)

Avaruus ja aika ovat samaa kudosta.

Aika on suhteellista: jokaisella on oma paikasta ja liikkeestä riippuva aikansa.

Arthur Eddington (1882 - 1944)



Astrofyysikko

- Teoria tähtien koostumuksesta (lämpötila, tiheys)
- Tähtien ominaisliike ja tähtijärjestelmien dynamiikka

Suhteellisuusteorian evankelista

- Teorian tärkeä kannattaja ja julkistaja
- Teorian varmentaja (valon taipuminen auringon painovoimakentässä, mittaukset 29.5.1919)

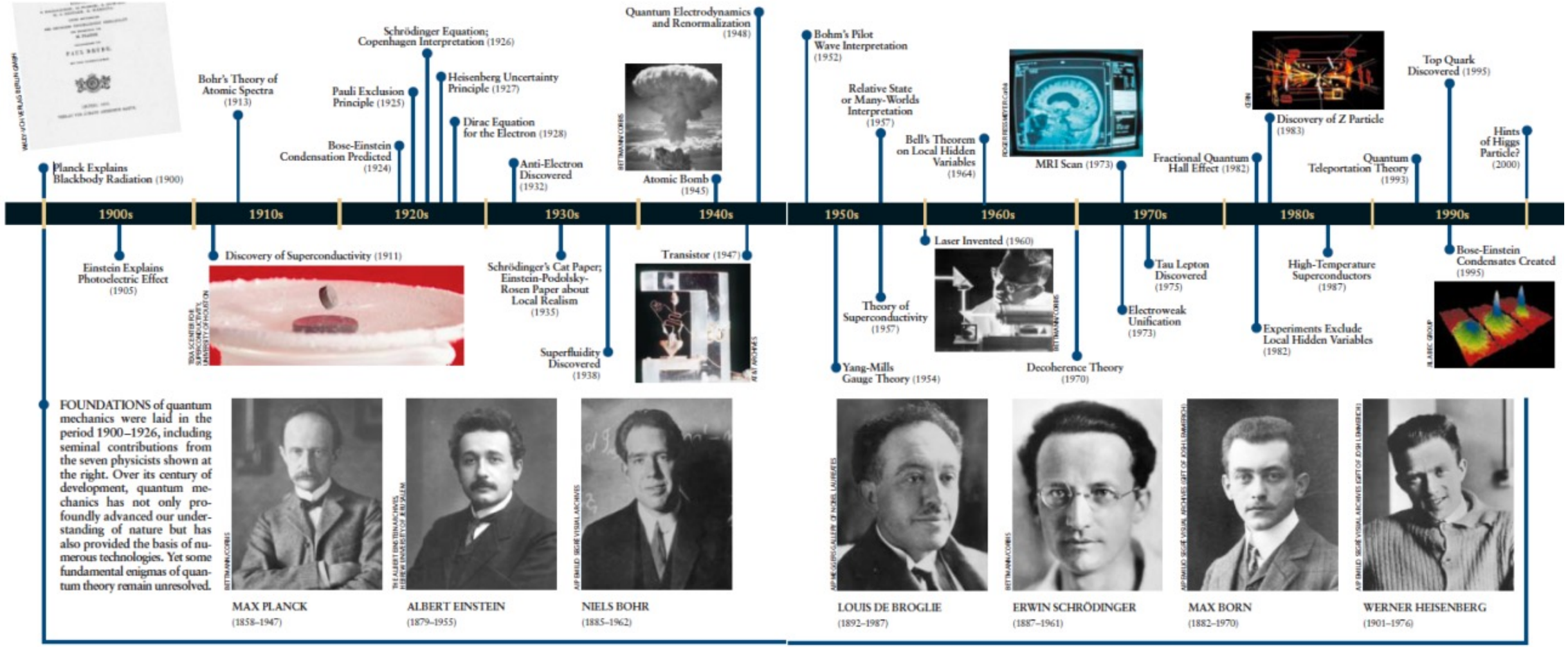
Ajan suunnan esittäjä

- The Nature of the Physical World (1928)
- Suhteellisuusteoria ei osoita ajan suuntaa
- Lämpöopin toinen pääsääntö ratkaisee
- Entropian kasvu määrää ajan suunnan

Eddingtonin selitys ajan suunnalle

Universumi on varsin järjestynyt eli sen entropia on vielä pieni. Universumi kulkee kohti suuremman todennäköisyyden tilaa eli entropia kasvaa. Me koemme entropian kasvun ajan kulkuna menneisyydestä tulevaisuuteen.

Kvantit tulevat - todellisuus on stokastista



Kvanttifysiikan näkemys maailmasta ja ajasta

1. **Maailma koostuu kvanttikentistä.**
2. **Aika on näistä kentistä nouseva (emergentti) kvantti-ilmiö**
3. **Ajan kvantti on nk. Planckin aika eli 5,4 * 10^{-44} sekuntia, sen alla ei aikaa ole**

Planckin ajan t_p kaava

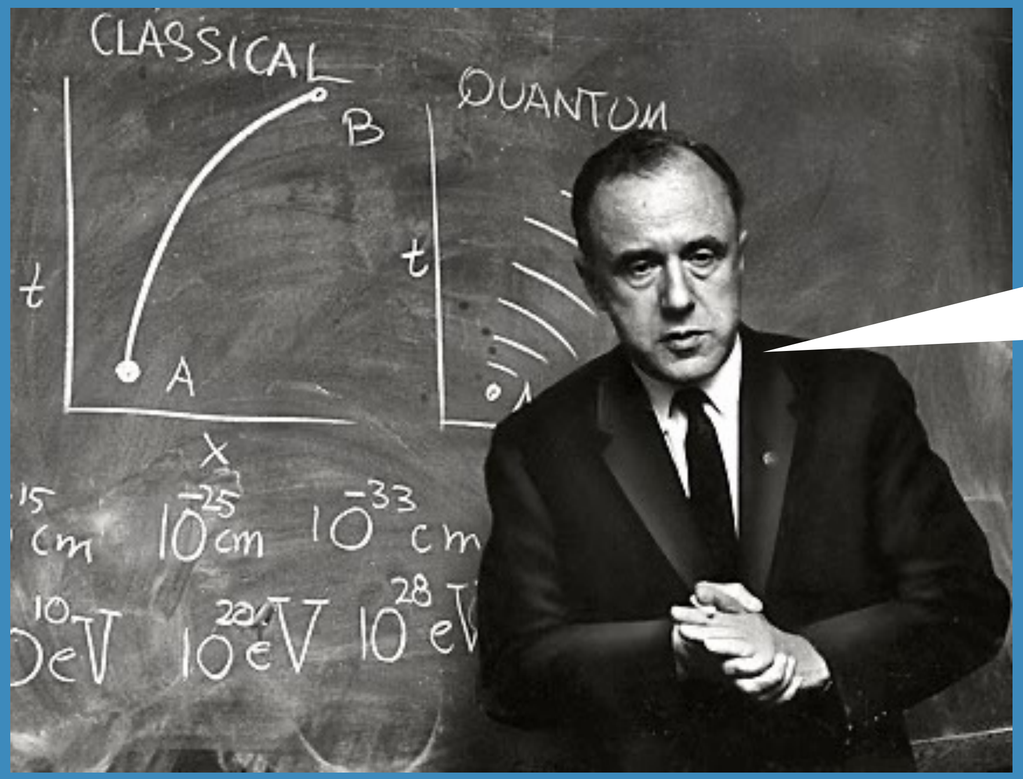
$$t_{\mathrm{P}} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}$$

missä ħ on Diracin vakio, G on gravitaatiovakio ja c on valon nopeus tyhjiössä

Stephen Hawking (1942 - 2018)

Aika syntyi suuressa alkuräjähdyksessä ja on avaruuden emergentti ominaisuus.
Ajan kolme suuntaa, kosmologinen, termodynaaminen ja psykologinen, osoittavat samaan suuntaan laajenevassa universumissa.

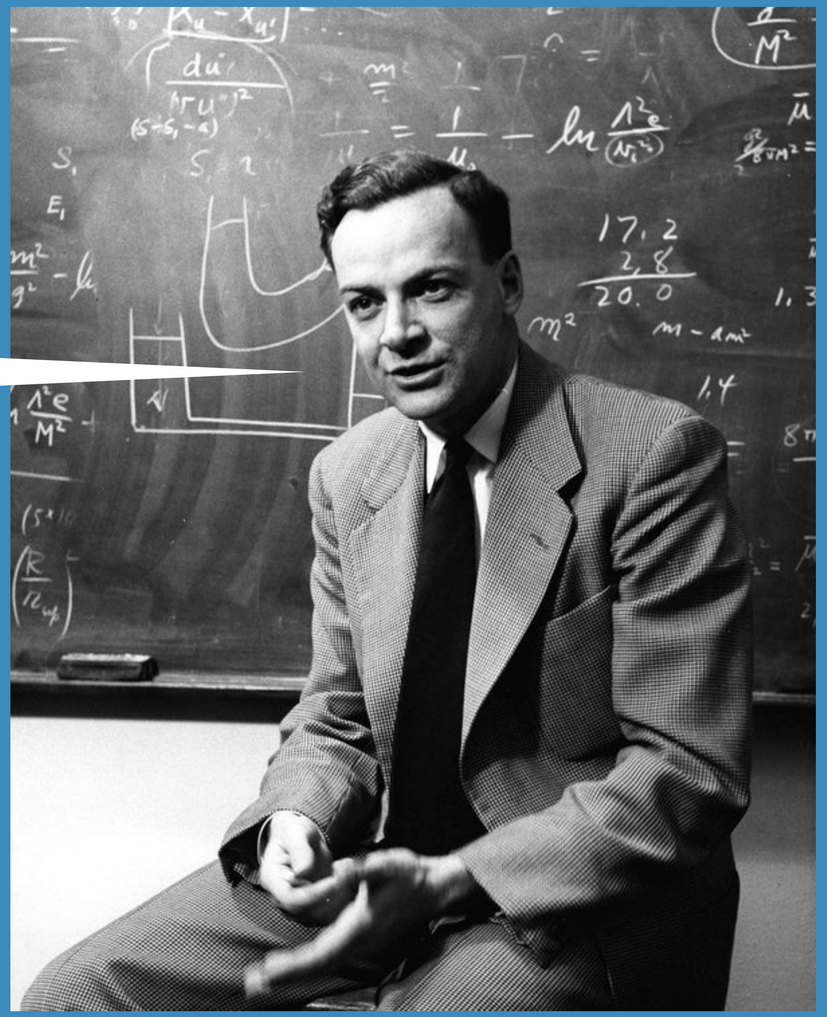
John Wheeler (1911 - 2008)



Aika on luonnon keino estää kaikkea tapahtumasta samaan aikaan.

Richard Feynman (1918 - 1988)

Time is what happens when nothing else does.



Välitiinpäätös ajasta

Aika on suhteellista

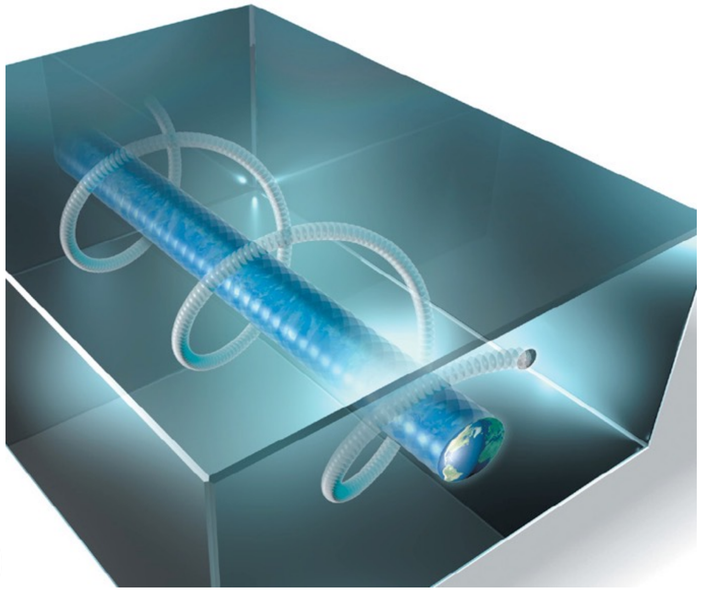
- Jokaisella havainnoitsijalla on oma subjektiivinen aika
- Aika etenee eri tavalla kiihtyvässä liikkeessä ja painovoimakentän eri osissa

Yhteistä nyt-hetkeä ei ole

- Valon nopeus rajoittaa havaintojamme
- Näemme aina vain (toisten) menneisyyttä

Aika on kvantti-ilmiö

- Ajan kvantti on $5{,}4 * 10^{-44}$ sekuntia (Planckin aika)



Aika ja avaruus ovat yhtä kudosta

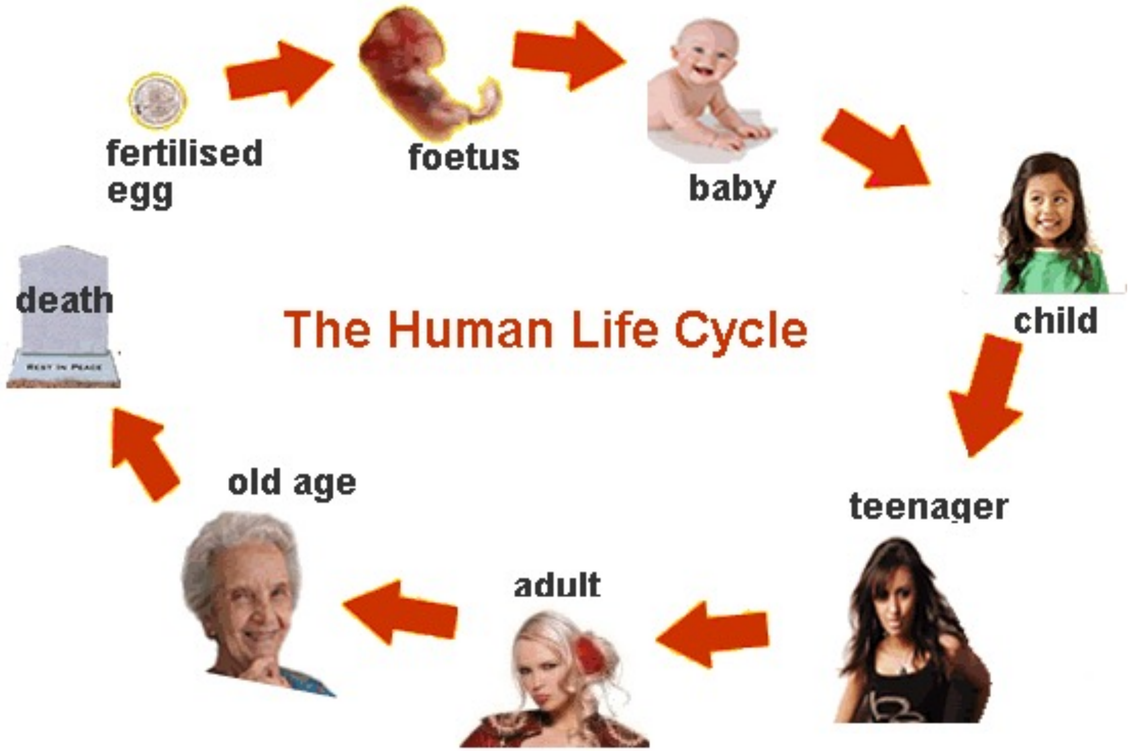
- Elämme neliulotteisessa aika-avaruudessa (Minkowski-avaruus)
- Aika ja kolme tiladimensiota sulautuvat yhteen lähestyttäessä singulariteettia
- Tiladimensioista poiketen ajassa ei voi vapaasti liikkua

On olemassa hyvin vähän ajan suhteen epäsymmetrisiä ilmiöitä

Kysymyksiä ajasta

Onko ajalla alku ja loppu?

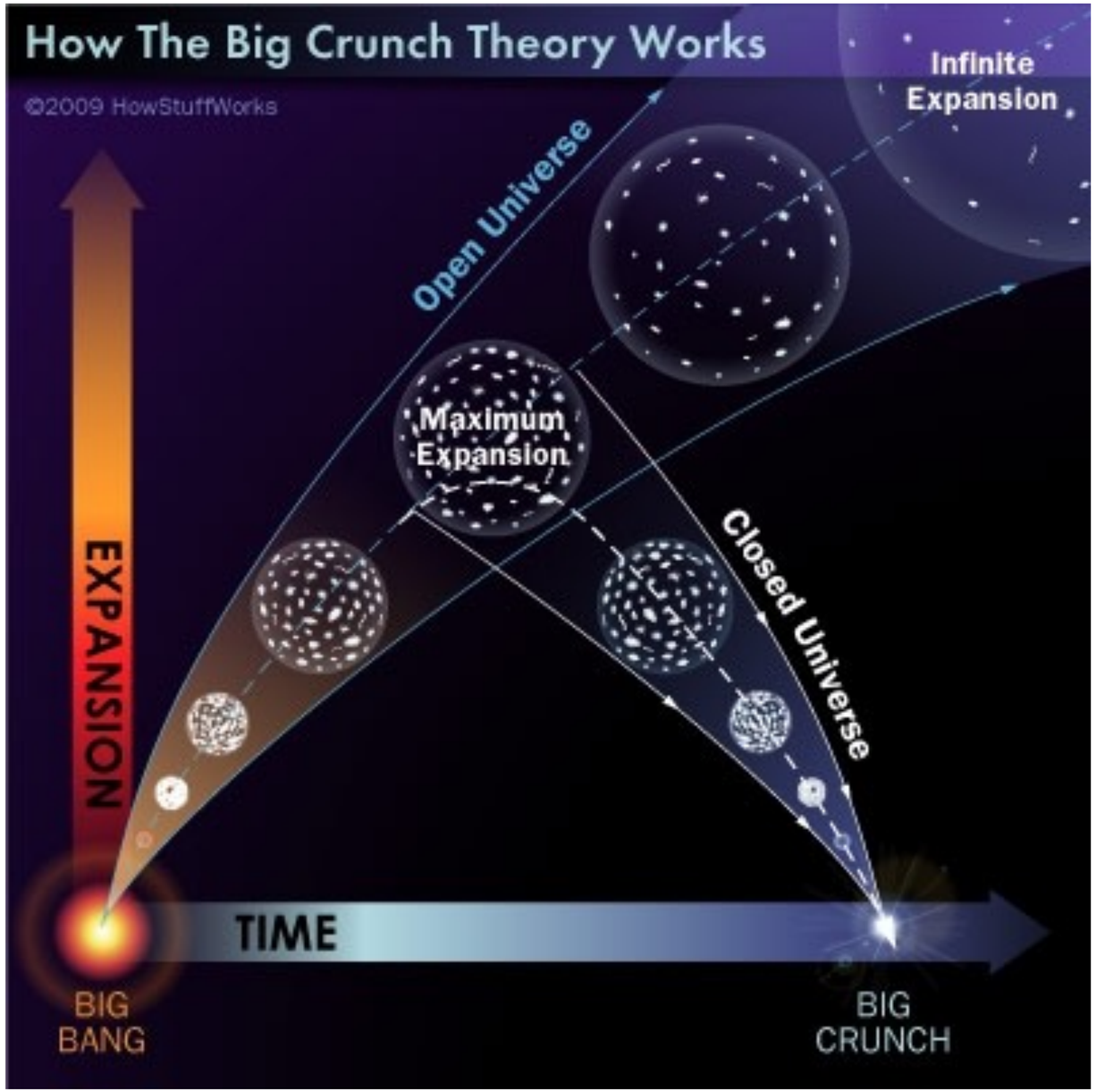
Henkilökohtaisen ajan alku ja loppu



Ihmisen aika

- Aika alkaa hedelmöityksestä tai syntymästä
- Aika loppuu kuolemaan (siirtyminen ajasta ikuisuuteen)

Kosmologisen ajan alku ja loppu



Suljettu universumi

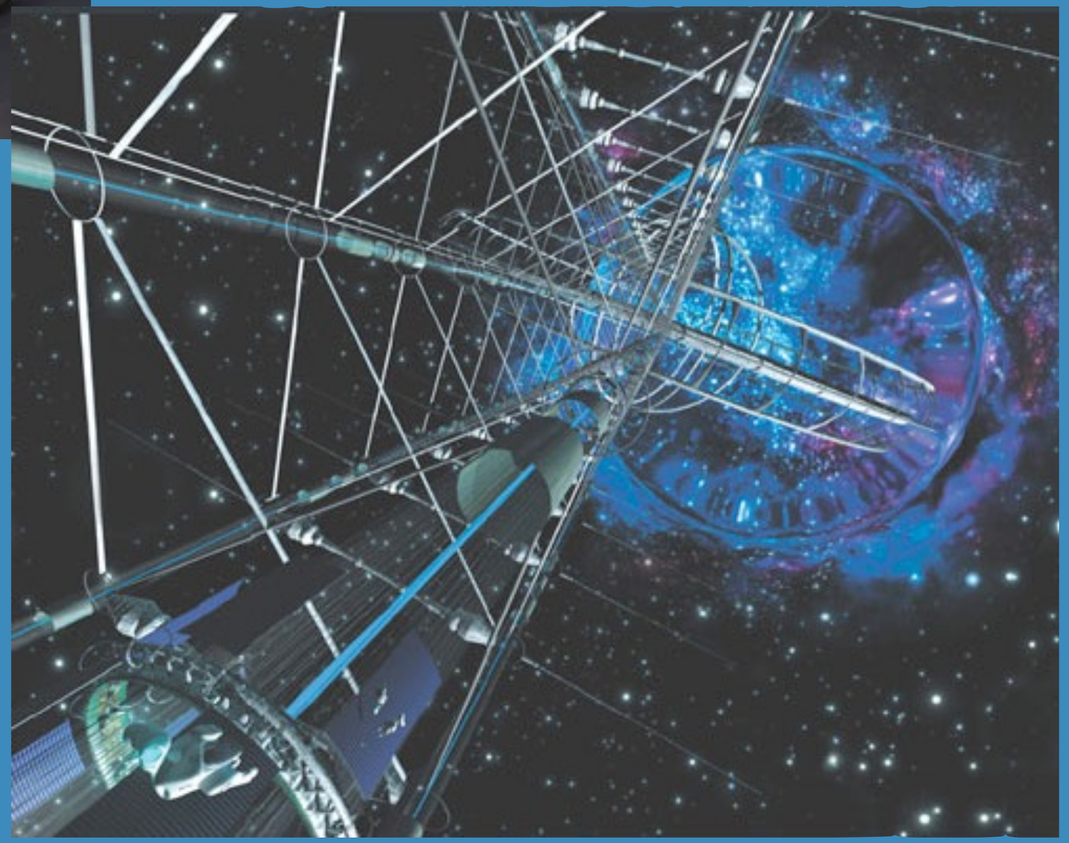
- Aika syntyy alkuräjähdyksessä
- Aikaa päättyy loppurysäyksessä

Avoin universumi

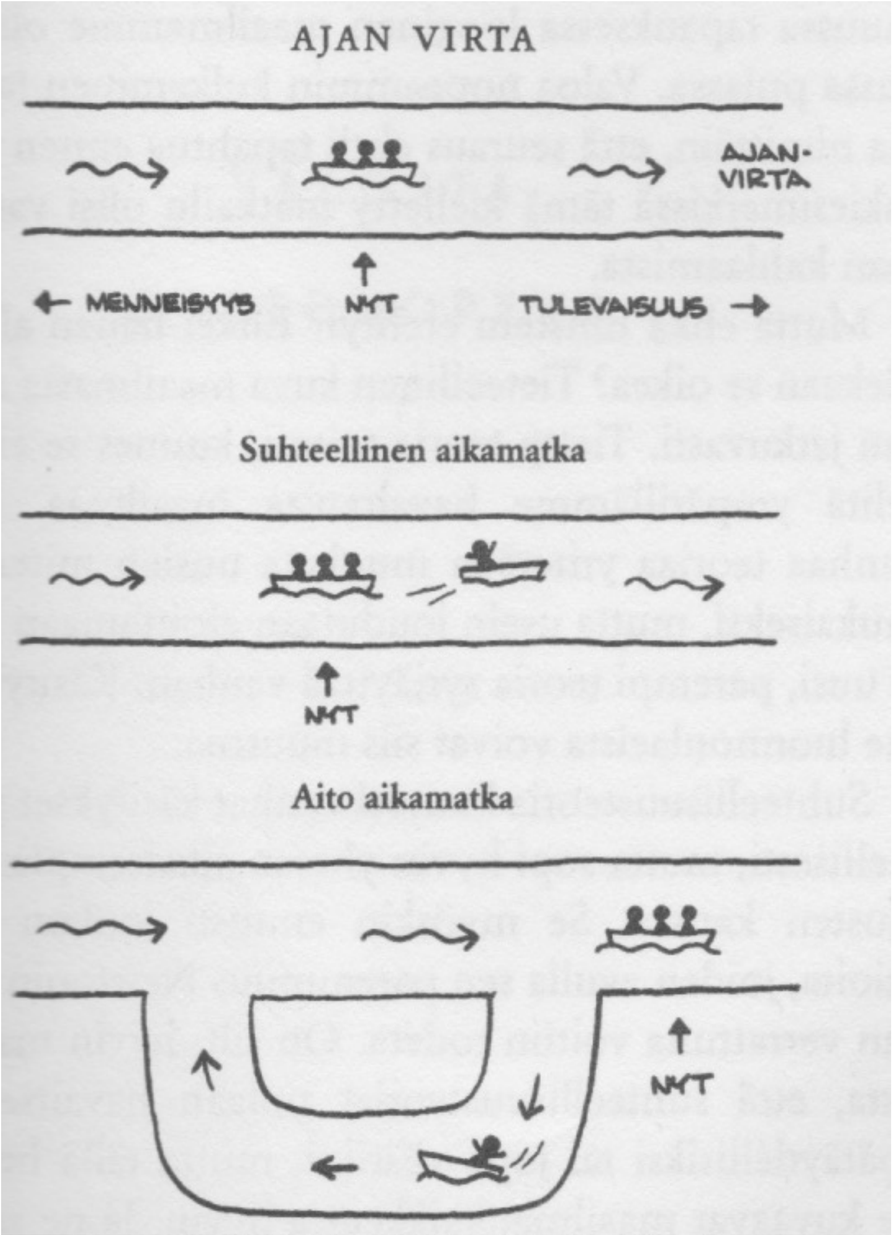
- Aika syntyy alkuräjähdyksessä
- Aika jatkaa kulkuaan avaruuden laajetessa
- Nykyisen käsityksen mukaan universumi laajenee kiihtyvällä nopeudella
- Jos tämän prosessin lopputuloksena on entropian maksimi ja tyhjä avaruus, niin silloin muutos loppuu ja aika sen myötä

Voiko ajassa matkustaa?

Unelma aikakoneesta



Erilaisia aikamatkoja



Luonnollinen aikamatka

- Ajan virta kuljettaa meitä vapaasti
- Emme voi vaikuttaa kulkunopeuteen

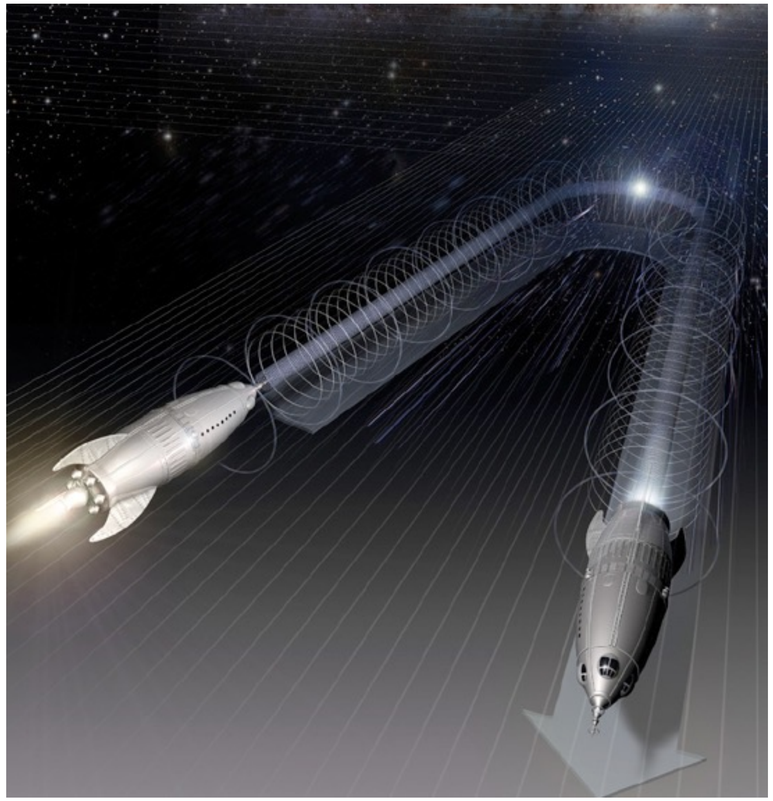
Suhteellinen aikamatka

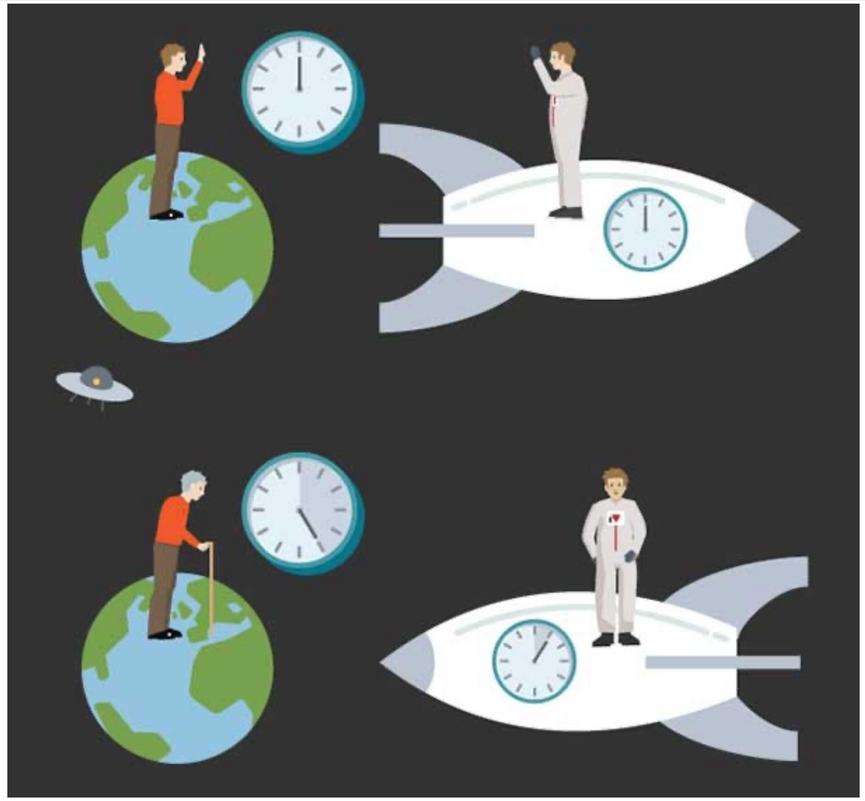
- Kuljemme energian avulla muita nopeammin ajan virrassa eteenpäin
- Liikkeemme poikkeaa muista

Aito aikamatka

- Kuljemme sivujuoksua pitkin ylävirtaan (menneisyyteen)

Aikamatka (muiden) tulevaisuuteen (aikadilataatio)





Suhteellinen aikamatka on mahdollinen

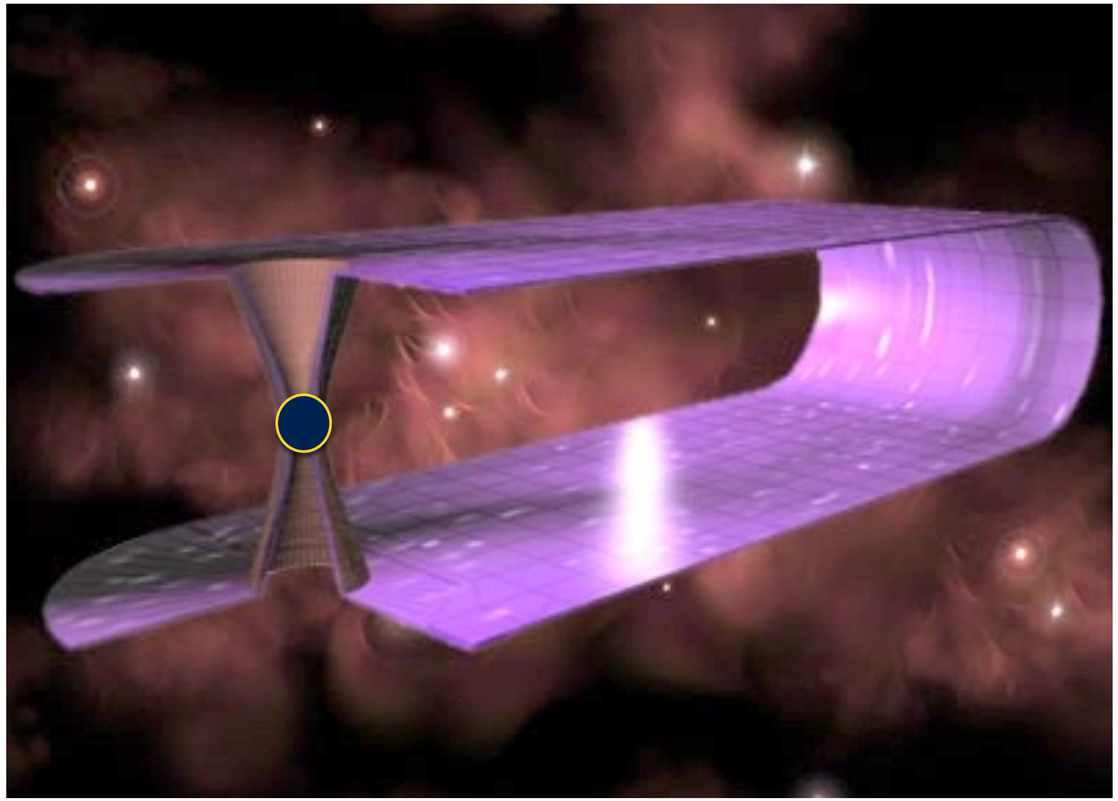
- Lento toiseen aurinkokuntaan ja takaisin (2 x kiihdytys-jarrutus)
- Lentäjän aikaa on kulunut vähemmän kuin maassa olevien

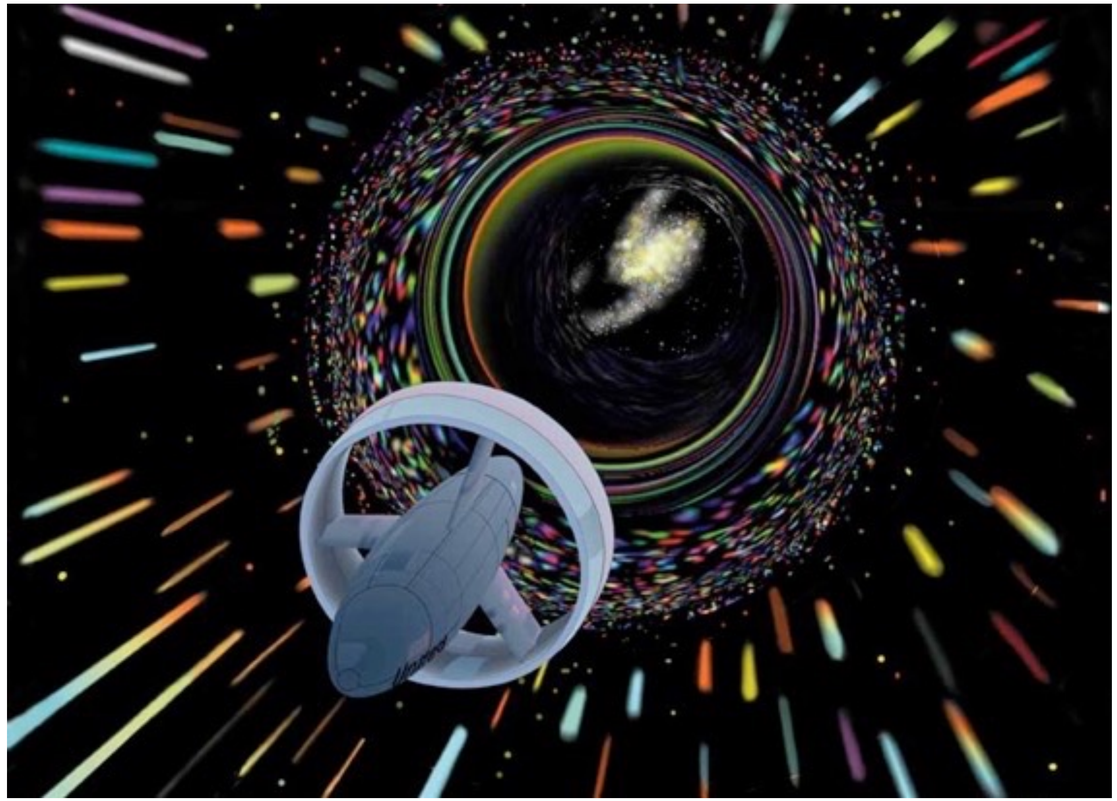
Tulevaisuuden mies

Sergei Krikalev

- Ollut 803 päivää avaruudessa Sojuz - ja MIR-asemilla
- Keskinopeus 7,6 km/s
- Elää 20 ms tulevaisuudessa
- Viimeinen neuvostoliittolainen v. 1991

Aito aikamatka madonreiän kautta

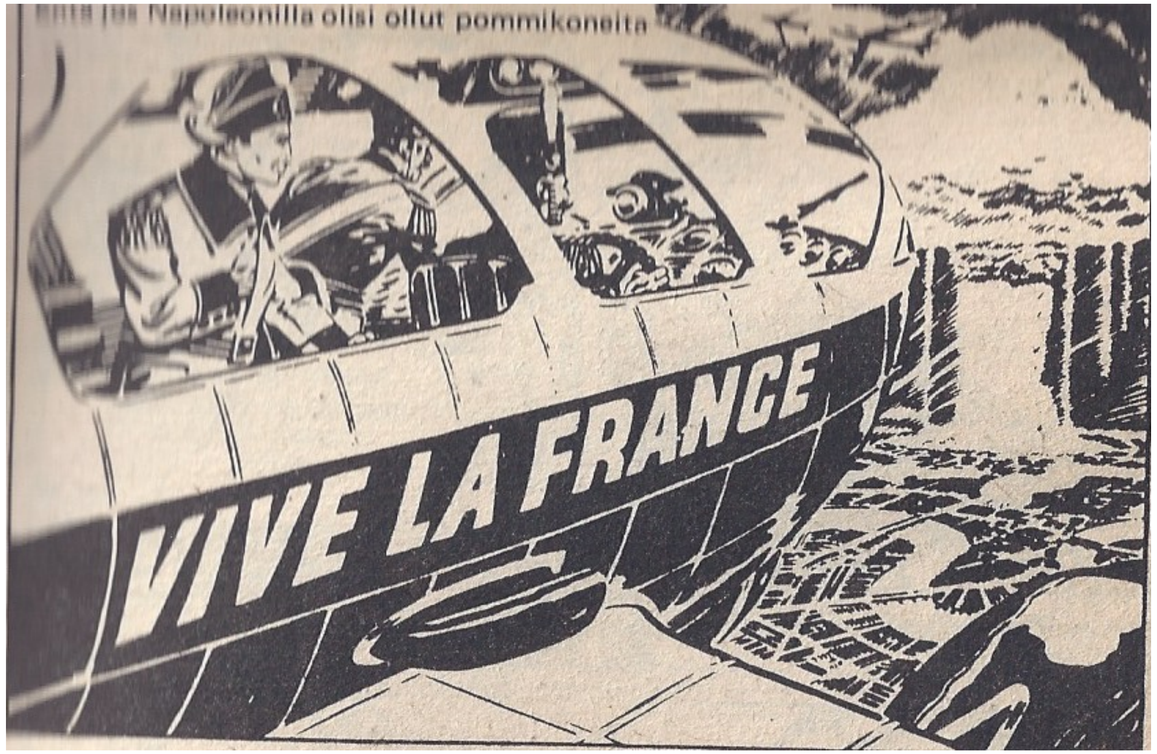




Aito aikamatka menneisyyteen ei liene mahdollista

- Suhteellisuusteoria ei kiellä matkustusta ajassa madonreiän läpi
- … mutta madonreiässä on hirviö, joka katkaisee matkan

Missä kaikki aikamatkaajat ovat?



Ajassa matkustaminen ei näytä olevan yleistä

- Missä kaikki ovat ? (vrt. Fermin paradoksi)
- Aikamatkustuksen paradoksit (mm. isoisäparadoksi)
- Aikakoneella ei voi matkustaa aikaan ennen sen keksimistä?!?

Muita kysymyksiä?

Muita kysymykisä ajasta

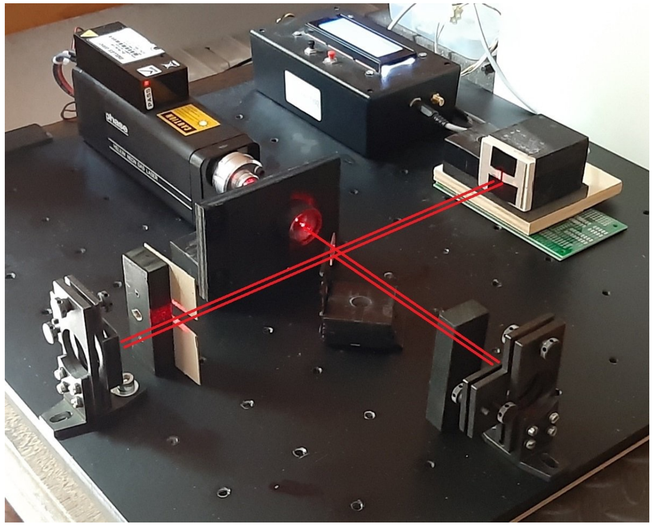
Onko aikaa olemassa vai onko se vain illuusio?

Miksi muistamme menneisyyden, mutta emme tulevaisuutta?

Jotta voimme vasta näihin kysymyksiin, meidän täytyy tutkia lisää ajan luonnetta.

Ajan luonteen tutkiminen?

Mitä ”työkaluja” voimme käyttää ajan ongelmaa ratkaistaessa



Fysiikka

- Ainetta, energiaa ja luonnonlakeja tutkiva tiede
- Tavoitteena matemaattisia esityksiä luonnon lainalaisuuksille
- Menetelmänä teoriat ja niiden testaaminen kokeellisesti
- Kokeet paikallisia (maa ja lähiavaruus)
- Kokeiden toistettavuus ja tulosten tarkistus mahdollisia

Kosmologia

- Maailmankaikkeuden rakennetta ja kehitystä tutkiva tiede
- Käyttää välineinä fysiikkaa ja tähtitiedettä
- Menetelmänä havainnot ja niiden pohjalta kehitetyt teoriat
- Havainnot paikallisia (maa ja lähiavaruus)
- Koejärjestelyjen hallinta vaikeaa

Rajoituksia ja ongelmia

Fysiikka

- Ovatko luonnonlait paikallisia ja/tai ajasta riippumattomia
- Koejärjestelyt aina lokaalisia ja aikaan sidottuja
- Kokeet ja tulokset epätäydellisiä (esim. Newtonin 1. laki)
- Ovatko fysiikan teoriat falsifioitavissa?

Kosmologia

- Tutkimme ilmiötä maailmankaikkeus sisältä päin
- Voiko rajatonta maailmankaikkeutta ymmärtää rajallisilla aivoilla
- Testausjärjestelyt ja toistettavuus ongelmallisia
- Aistihavaintojen ja mittausten rajoittuneisuus

Gödelin epätäydellisyyslause (1931)

- Kaikki matematiikkaan perustuvat teoriat ovat epätäydellisiä
- On olemassa (matemaattisia) totuuksia, joita ei voida todistaa

Onko aika vain illuusio?

Aikaa ei ole, se on vain illuusio

J. M. E. McTaggart (1866–1925)

- Artikkeli ”The Unreality of Time” (1908)

Albert Einstein (1879 - 1955)

- Kirje ystävänsä Michele Besson sisarelle (1955): ”Me fysiikkaan uskovat tiedämme, että ajan jako menneisyyteen, nykyisyyteen ja tulevaisuuteen on sitkeä, typerä harha”

Julian Barbour (1937 -)

- Kirjat ”The End of Time” (1999) ja ”The Janus Point” (2020)
- Aika on vain illuusio; kun ajasta luovutaan, monet fysiikan ongelmat ratkeavat”

Useat fyysikot ovat muuttaneet kantaansa ajan olemassaolon suhteen

Aika ja entropia

Termodynamiikan 2. pääsääntö (entropialaki): Suljetun järjestelmän entropia pysyy vakiona tai kasvaa.
Se on (melkein) ainoa fysiikan sääntö, joka on ajan suhteen epäsymmetrinen.

Huom! Entropialaki on todennäköisyyslaki eli on nollasta poikkeava todennäköisyys, että entropia voi pienentyä.

Arthur Eddington: Ajan nuoli ja entropia

Entropia selittää ajan ja antaa sille suunnan = Ajan nuoli

Entropian kasvu ohjaa universumin muutosta

- Aika on tämän entropian kasvun ilmentymä

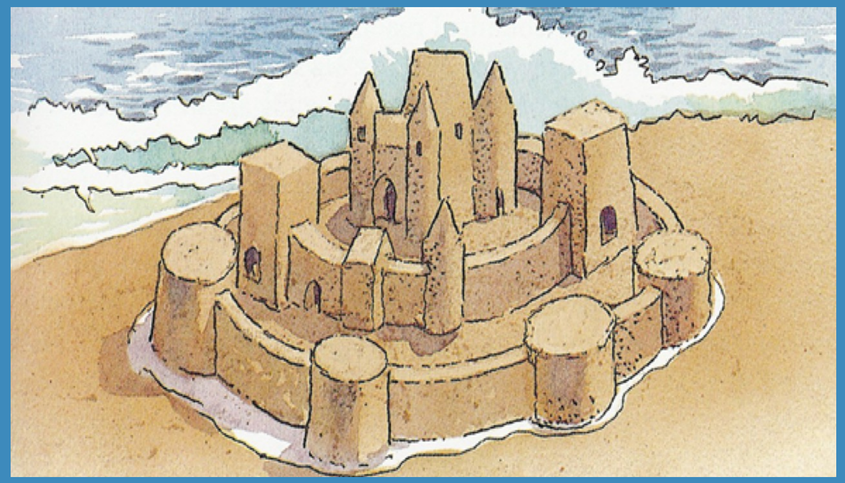
Entropia selittää menneisyyden ja tulevaisuuden

- Voimme muistaa enemmän järjestäytyneet tilat, mutta emme (lukuisia) epäjärjestyksen tiloja.

Entropia määrää aikajärjestyksen

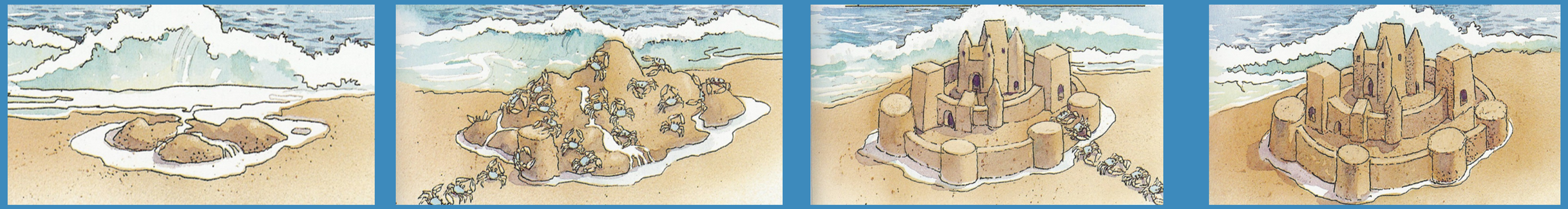
- Otetaan kaksi tilaa suljetusta järjestelmästä ja lasketaan niiden entropiat.
- Pienemmän entropian tila on ajallisesti aikaisempi.

Aikajärjestys voidaan päätellä entropiasta



Aika

... vai voidaanko?



Aika

Sir Arthur Eddingtonin erehdys

Entropia ei määrittele aikaa ja ajan suuntaa!

Miksi Eddington erehtyi?

Eddington kehitti Ajan nuoli-teoriansa v. 1927.

Sen jälkeen paljon on tapahtunut kosmologiassa

- Universumi laajenee (Edwin Hubble, 1929)
- Universumi syntyi ”alkuräjähdyksessä” 13,8 miljardia vuotta sitten (Standardimalli, 1960-luku)
- Neutriinot (1956)
- Kosminen taustasäteily (1965)
- Mustat aukot (1967)
- Pimeä energia ja universumin kiihtyvä laajeneminen (2000-luku)

Nämä ilmiöt osoittavat Eddingtonin erehtyneen

Järjestys universumissa on kasvanut

Alkusoppa

Tähdet

Planeettakunnat

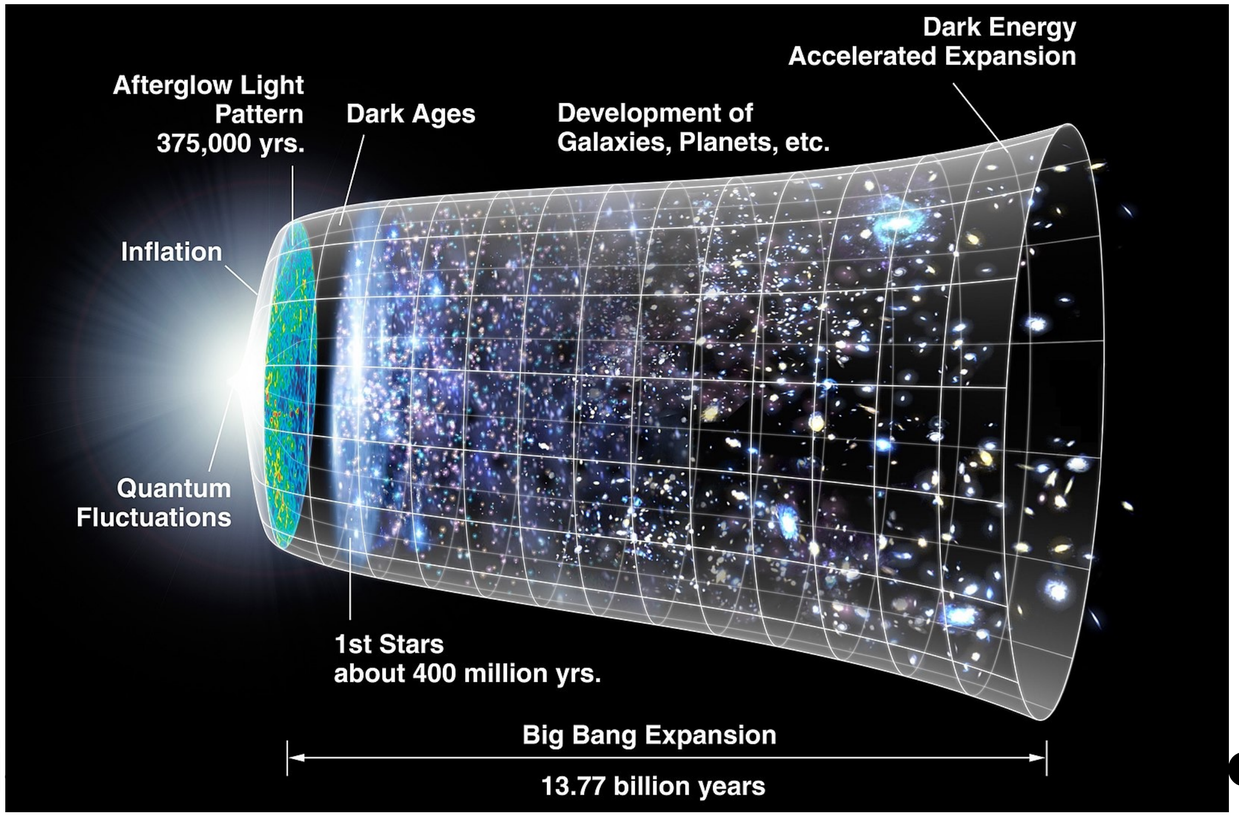
Galaksit

Galaksijoukot

Elämä

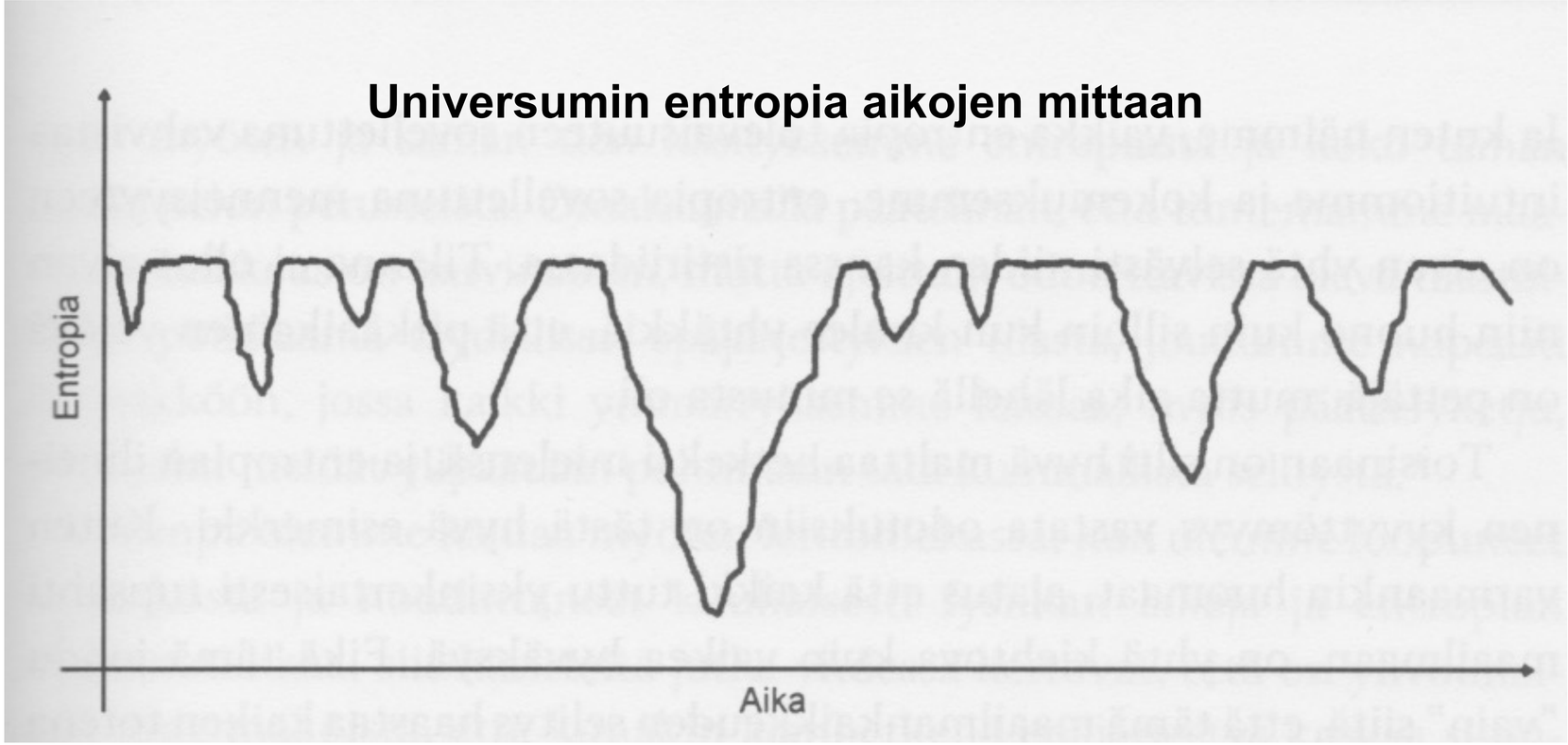
Kulttuuri

Internet

Netflix ja Facebook (No j 

estystä)

Universumin entropia ei ole aina kasvanut



Miksi entropia on pienentynyt

- Universumi ei ole suljettu järjestelmä
- Painovoima on luonut järjestystä eli pienentänyt entropiaa
- Ilmiö nimeltä elämä on paikallisesti pienentänyt entropiaa

Entropian lajit ja määrät universumissa

Keskimääräisen entropian kasvu universumissa kyseenalaista

Universumin kiihtyvä laajeneminen ylittää entropian kasvun => universumin keskimääräinen entropia ei kasva

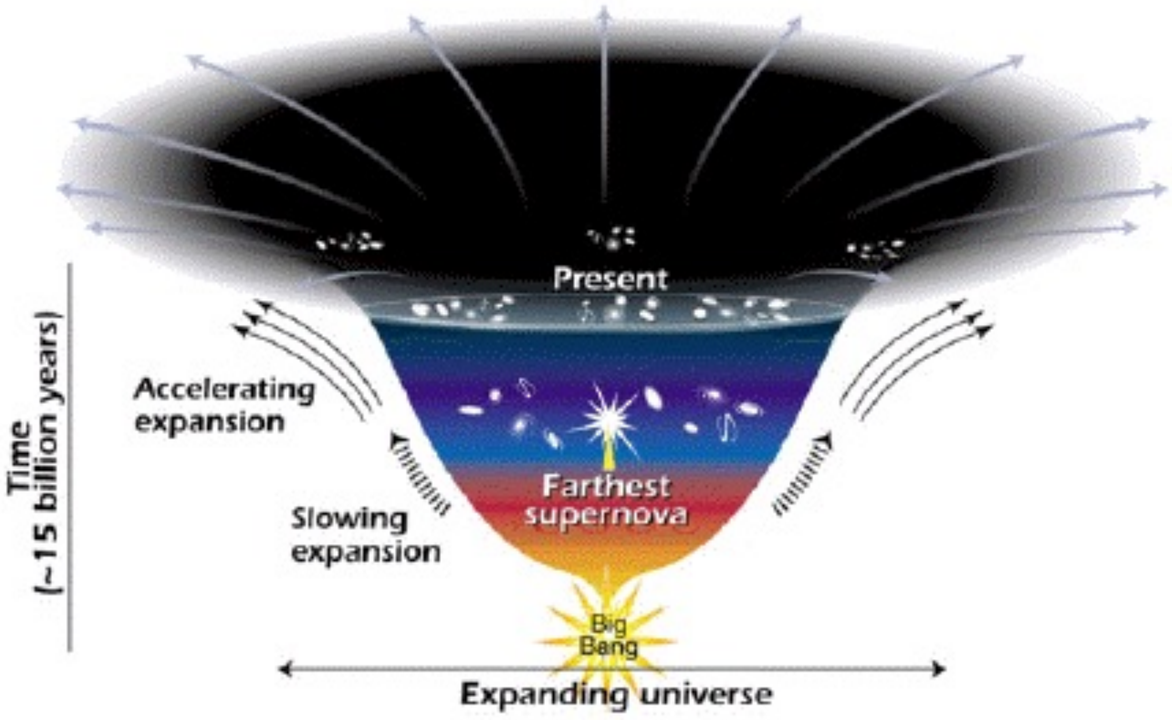
Entropian ja ajan yhteys on vähintäänkin kyseenalainen.

Entropia ei selitä aikaa.

Mitä aika on - oma käsitykseni

Eddington oli oikeilla jäljillä: ajan määrittelyyn tarvitsemme merkittävän ja pysyvästi ajan suhteen epäsymmetrisen ilmiön

Universumin laajeneminen on melko kiistatonta



Universumi laajenee koko ajan

Tämä on entropian kasvua parempi perusta ajan määrittelylle

Esitelmöitsijän käsitys ajasta

1. Aika on todellinen, kvanttifysikaalinen ilmiö, ei illuusio
2. Aika ja avaruus syntyivät alkuräjähdyksessä
3. Universumi laajenee jatkuvasti neliulotteisesti: joka hetki syntyy uutta avaruutta ja aikaa => ajan nuoli
4. Todellisuus on kvanttien tanssia

Miksi muistamme menneisyyden, mutta emme tulevaisuutta?

Menneisyys on se osa todellisuutta, jossa kvanttifysiikka on jo toiminut eli aaltofunktio romahtanut, tulevaisuus on se osa, jossa kvanttifysiikan epävarmuus vielä vaikuttaa, ja nykyisyys on niiden välissä.

Muistamme toteutuneen menneisyyden, mutta emme voi tietää mitään vielä epävarmasta tulevaisuudesta.

Lopuksi

Miksi ajasta ei ole yksimielistä käsitystä

Aika voi olla luonteeltaan dualistinen (tai moniulotteisempikin) ilmiö, kuten valo. Käsitys ajasta voi riippua valitusta viitekehyksestä.

Varoituksen sana

Miltei jokainen tieteellinen teoria tähän asti on osoittautunut - ainakin joltain osin - vääräksi tai epätäydelliseksi.

Kiitos ajastanne!