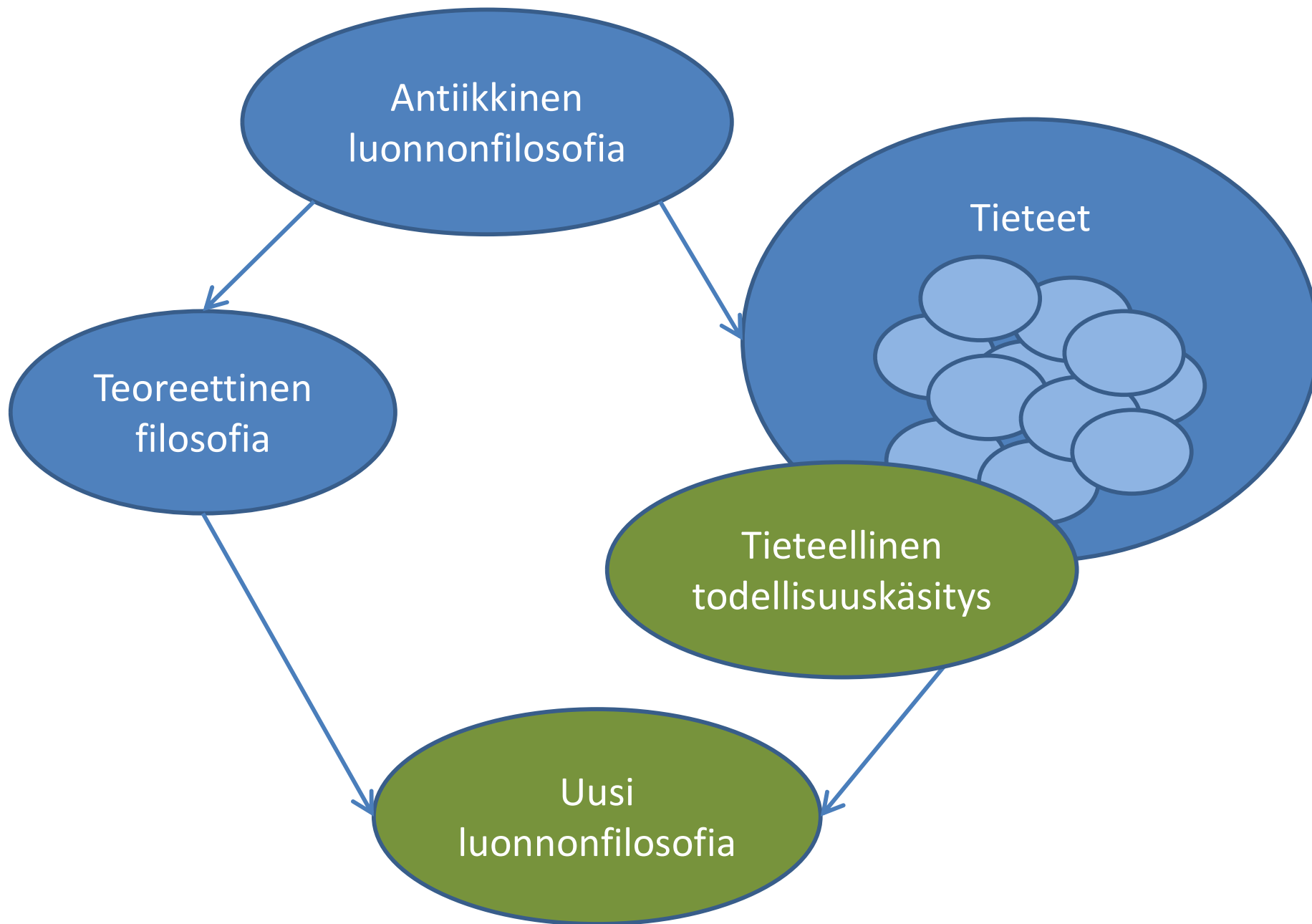


# Fysiikan kognitiivisesta hahmottamisesta

Luonnonfilosofian seura 19.9.2023

Juha Samela



## Kellarissa Sokrates tietää, että ulkona sataa!

"Äsken satoi vettä ja siksi kadut ovat märkiä."

"Ymmärrän, miksi vesi lämpenee kiehuvaksi hellalla."

"Ptolemaios uskoi, että Aurinko kiertää Maata. Kopernikus ymmärsi, että Aurinko ei kierrä Maata."

"Kukaan ei ymmärrä, mitä on pimeä energia."

# Kognitiivinen psykologia

*”Kognitiivinen psykologia on psykologian osa-alue, joka tutkii ihmisen tietoa käsitteleviä prosesseja, esimerkiksi muistin, oppimisen, ajattelun, havaitsemisen, tarkkaavaisuuden, luovuuden ja ongelmanratkaisun toimintaa.”*

From <[https://fi.wikipedia.org/wiki/Kognitiivinen\\_psykologia](https://fi.wikipedia.org/wiki/Kognitiivinen_psykologia)>

Käyttäytymistä tutkiva luonnontiede

- Kokeet
- Kuvantaminen
- Tapaukset
- Mallinnus

Kehittynyt nopeasti 30 vuoden aikana – muutos jatkuu

- Lue 2000-luvun aineistoa!
- Valtaosa fysiikan tulkintaa koskevista teksteistä vanhempia

Psykologia ei ratkaise luonnonfilosofian haasteita, mutta valaisee ratkaisijan toimintaa!

## Hermoverkko / neuroverkko

### **Uusin paradigma: Aivot ovat neuronien muodostama verkosto.**

- Ajattelulla on fyysinen ilmentymä – supervenienssi
- Representaatiot eivät ole ”kuvia” tai ”tiedostoja”
- Representaatiot koetaan tietoisuudessa.
- Representaatiot ovat muutoksenalaisia ja ”itseksensä kehittyviä”.
- Kokonainen ihminen – aistit, kognitio, tunteet, kehollisuus.
- Biologinen evoluutio on vaikuttanut aivojen ja hermoston kehittymiseen.
- Perinnöllisyys/oppiminen ei muodosta enää ristiriitaa
- Osa representaatiosta kehittyy lähes varmasti tietynlaisiksi

# Lähteitä

Eysenck and Brysbaert: Fundamentals of Cognition, Routledge 2018

Ylikoski ja Kokkonen: Evoluutio ja ihmisluonto, Gaudeamus, 2009

Robins et al. (ed.): The Routledge Companion to Philosophy of Psychology, Routledge 2020

Riku Juti, Lyhyt metafysiikan historia, Gaudeamus, 2019

Riku Juti, Johdatus metafysiikkaan, Gaudeamus, 2001

Supervenience From <<https://plato.stanford.edu/entries/supervenience/>>

Supervenience and Mind From <<https://iep.utm.edu/supermin/>>

# Hahmotuksen tasot

## Ympäristön hahmotus

- aistihavaintojen hahmotus ympäristöksi
- välitön kokemus
- yksilön psykologiaa

Vastaavasti myös  
matematiikka!

## Kansanfysiikka

- yleistyksset ja havainnot lainalaisuuksista
- arkiset käsitteet
- osittain kulttuuri-ilmio

## Tieteellinen fysiikka

- systemaattinen kokeellisten tulosten ja matematiikan yhdistelmä
- tieteelliset käsitteet samalla myös matemaattisia käsitteitä
- tiedeyhteisön toiminnan tulosta – kulttuuri-ilmio

# Ympäristön hahmottaminen ja kansanfysiikka



# Ympäristön hahmottaminen

Fysikaalisten käsitteiden perusteet nousevat ympäristön hahmottamisesta, joka perustuu aistihavaintoihin.

- Näköaisti - suppea alue sähkömagneettisesta spektristä, kolmiulotteinen kuva, esineiden muodot, pintojen luonne, hyvä värien erottelu
- Kuuloaisti - 30-15000 Hz äänet, suunnan ja etääntymisen havaitseminen, toiston havaitseminen
- Asento-, liike- ja tasapainoaistit - asento, suunta, nopeus, kiihtyvyys, paino, kylmä/kuuma paine/voima
- Kemialliset aistit antavat tietoa aineiden ominaisuuksista.

## Hahmottamisen piirteitä

- Aistit toimivat yhteistoiminnassa muodostaen tilannekuvaa ympäristöstä (objektit, liikkeet).
- Aistisignaali etenee "alhaalta ylös", toisaalta "ylimmät käsittelytoiminnot" vaikuttavat alempiin.
- Suuri osa prosessoinnista tapahtuu tietoisuuden ulkopuolella.
- Huomaamme usein sen, mihin olemme virittyneet (priming).
- Useimmille klassisen fysiikan suureille on vastine välittömässä aistikokemuksessa

# Kansanfysiikka

Perustuu kykyymme yleistää ja luokitella.

Emme ainoastaan hahmota ympäristöä hetkestä hetkeen, vaan osaamme ennakoida ja suunnitella. Käsiyöläiset!

Kielen avulla pystymme kommunikoimaan heuristiikkoja:

- Tila on kolmiulotteinen.
- Aika kulkee vääjäämättömästi ja tasaisesti.
- On olemassa yläpuoli ja alapuoli.
- Kiinteät esineet painavat jotain eivätkä liiku toistensa lävitse.

Valmius kansanfysiikkaan on jokaisella. Ympäristöstä riippuen sisältö vaihtelee.

”Syvällisempää” tietoa:

Veikko Huovinen, Havukka-Ajon ajattelija, 1952

# Väärinkäsityksiä

Kansanfysiikan heuristiikat voivat olla tieteellisen fysiikan näkökulmasta virheellisiä käsityksiä:

- Aurinko kulkee taivaan poikki.
- Painava esine putoaa nopeammin kuin kevyt.
- Kappale pysähtyy, jos mikään voima ei siihen vaikuta.
- Tuli on kuuma, vesi on märkää, maa on painavaa, ilma on ohutta - luonnon elementeillä on olemus!

Heuristiikat ovat hyviä käytännön elämässä, syntyjen syvien pohdinnassa niiden rajat tulevat vastaan.

## Fysiikan tohtorit ja kansanfysiikka

Aivojen kuvantamiseen perustuva tutkimus: Kansanfysiikan heuristiikat nousevat kaikkien mieleen, mutta fysiikan tohtorit käyttävät enemmän aikaa niiden arviointiin tai torjumiseen kuin muut.

Vahvistaa yleisen psykologisen käsityksen tiettyjen heuristiikkojen ”kiinteydestä”.

An fMRI study of scientists with a Ph.D. in physics confronted with naive ideas in science  
Allaire-Duguet et al., Science and Learning (A Nature Partner Journal), 2021,  
<https://doi.org/10.1038/s41539-021-00091-x>

# Kansanfysiikka mukautuu

Olemme tottuneet autoon, lentokoneeseen, sähköhellaan, kännykkään ja niin edelleen.

- Ympäristössämme tapahtuu asioita, joita vanha kansa kutsuisi ihmeiksi.
- Sähköhella olisi keskiajan ihmiselle noituutta!
- Polkupyörän voisi selittää keskiajan ihmiselle, mutta sähköauto tuottaisi haasteen.

Tottuisimmeko teleportaatioon?

- Anton Zeilinger!

# Käykö teoria järkeen!

Mitä lähempänä tieteellinen teoria on kansanfysiikkaa, sitä vähemmän se vaatii tulkintaa!

**Klassinen mekaniikka:** Kappaleet eivät tarvitse ”liikuttajaa”, vaan säilyttävät liiketilansa.

**Klassinen sähkömagnetismi:** Kentät ovat näkymättömiä, mutta sijaitsevat kuitenkin tutussa ja turvallisessa kolmiulotteisessa avaruudessa.

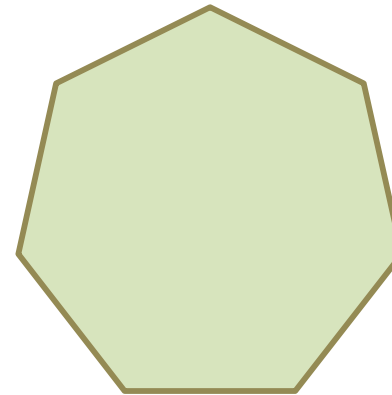
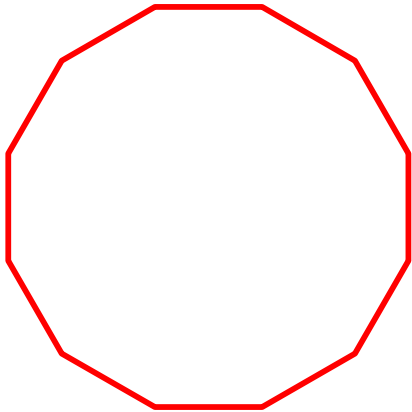
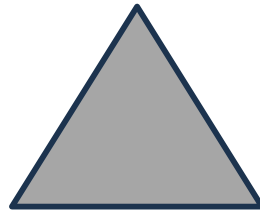
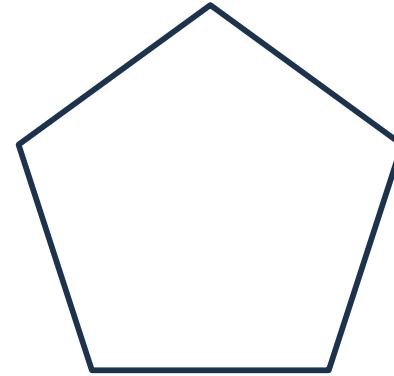
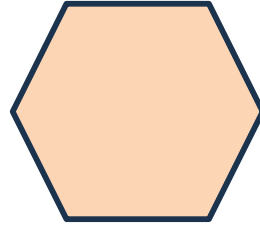
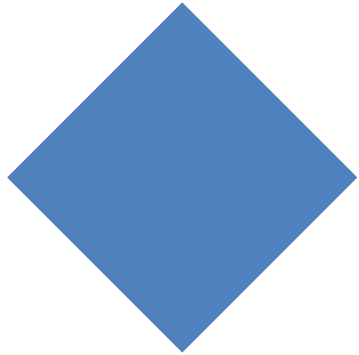
**Suhteellisuusteoria:** Valon nopeuden vakioisuus, eri liiketiloissa olevien havaitsijoiden käsitys ajankulusta: ”Onneksi ei tarvitse arkielämässä tästä huolestua.”

**Kvanttifysiikka:** Täynnä outoja ilmiöitä, joista ei ole välitöntä havaintoa. Teorioita ja käsitteitä, jotka tuntuvat epäintuitiivisilta.

# Käsitteellinen ajattelu



# Käsitteen ilmentymä / avain / vihje



## Havainnollistaminen = vihjeiden luomista

Geometriset viivat ajatellaan äärettömän ohuiksi. Viivaa voidaan pitää äärettömän tiheässä olevien peräkkäisten pisteiden muodostamana. Havainnollisen, joskin karkean kuvan tästä ajatustavasta saamme helminauhasta, jossa helmet kuvaavat pisteitä ja helminauha kokonaisuudessaan pisteiden muodostamaa viivaa. Puhutaan myös liikkeessä olevan pisteen muodostamasta viivasta. Tällöin ajatellaan pisteen joka hetki jättävän jäljen itseltään (pisteen) ja tarkoitetaan niiden muodostamaa viivaa. Niinpä kynällä paperille piirrettäessä kynän kärki esittää pistettä, jonka jättämät jäljet (pisteet) muodostavat viivan.

(K. Väisälä, Geometria, 1959)

# Yhteisymmärrys

Mitä on yhteisymmärrys käsitteen sisällöstä? Ovatko käsitteet täysin subjektiivisia?

Pystymme kommunikoidaan ja saavuttamaan vakuuttuneisuuden, että puhumme samasta käsitteestä.

- riittävän samanlaisen käsittekokemukset

Johtopäätös: Jos ei tunne käsitteitä, ei tiedä, mistä puhutaan - tai puhuu eri asiasta kuin muut.

Johtopäätös: Kun tulkitaan modernia fysiikkaa, on ymmärrettävä modernin fysiikan käsitteet.

# Tieteellisen tiedon yleispätevyys

Esimerkiksi Rudolf Carnap (1891–1970) on pohtinut tätä tieteellisen tiedon yleispätevyyttä (Juti 2001, s.88).

*"(...) psykologinen tutkimus on vahvistanut yhä kasvavassa määrin, että eri aisteissa vaikutelmien kokonaisuus on ensisijainen ja että niin kutsutut yksittäiset vaikutelmat, joista havainnon sitten sanotaan koostuvan, saadaan vasta tästä kokonaisvaikutelmasta pelkistämällä."*

- Yhtäläisyysmuistisuhteet = kognitiossa kaksi kokemusta todetaan jossain suhteessa toistensa kaltaisiksi.
- Tieteellisen tiedon yleispätevyys perustuu yhtäläisyysmuistisuhteiden verkostoon.
- Muodostuu heteropsykologinen todellisuus.

Tiedeyhteisön keskustelu, esimerkiksi vertaisarviointi, on ensiarvoista, yksin puurtava tutkija ei tee tiedettä.

# Olemusajattelu

Hermoverkon ominaisuus: Asioiden hahmottamisesta, vertailemisesta ja arvioinnista muodostuu representaatiota, jotka voivat sen jälkeen itse olla huomion kohteina. Representaatiot tavallaan objektivoituvat.

Tästä voi seurata kognitiivisia vinoutumia.

**Olemusajattelu** eli essentialismi on näkemys, että asioilla on jonkinlainen sisäinen olemus, joka tekee niistä sellaisia kuin ne ovat.

- Luonnon ilmiöt selitetään ilmiön tai luontokappaleen olemukseen viittaamalla.
- Vertaa Platonin ikuiset ideat, jotka ovat ensisijaisia partikulaareihin nähden.

# Ajatus kantaa äärettömyyteen

**Esimerkki 1:** Jokaista kokonaislukua vastaa seuraavaksi suurempi kokonaisluku ja niin edelleen.

- Päättelemme äärettömän olemassaolon tällaisen induktion kautta.

**Esimerkki 2:** Kolmiulotteinen avaruus muodostuu pisteistä  $(x,y,z)$ . Akselit ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan.

- Elämmekö kuitenkin neliulotteisen avaruuden kolmiulotteisella pinnalla?
- Onko avaruus ääretön?
- Voidaanko mennä mielivaltaisen pieniin etäisyyksiin?

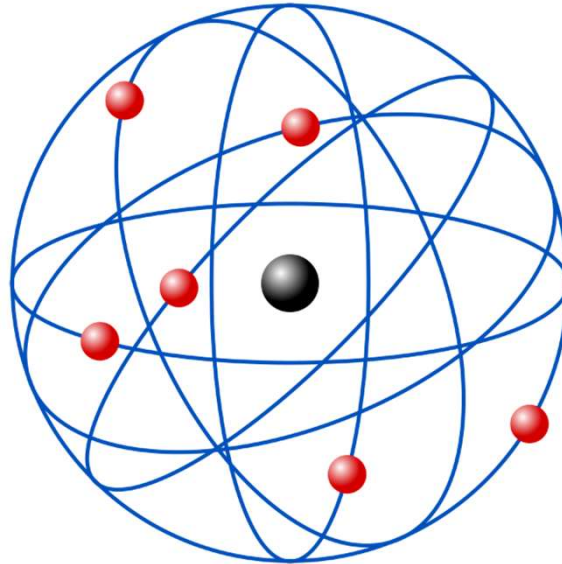
**Esimerkki 3:** Pystymme ajattelemaan, että olevaisuus on jonkinlainen ominaisuus. On siis olemassa oleva olevaisena. Se luo ajatuksen olevaisen vastakohtasta eli ei-olevasta.

- Voiko olevaisen vastakohta olla olemassa, silloinhan se olisi olevaista?

Monet "mielen artefaktit" ovat osoittautuneet hyödyllisiksi matematiikassa, esimerkiksi äärettömän käsite.

# Matka tieteelliseen fysiikkaan

# Atomismi



Intialainen atomismi 600-300 eaa. – Aineen jaettavuudella on raja.

Leukippos ja Demokritos noin 400 eaa. – Substanssi muodostuu atomeista ja tyhyydestä. Tyhjiys on ääretön.

Islamilainen atomismi 900-100 jaa. – Jatkuva aines koostuisi äärettömän monesta osasta, mikä ei ole loogista.



## Oxfordin kalkulaattorit

Vilhelm Occamilainen (1287 – 1347) katsoi, että vain partikulaarit ovat todellisia.

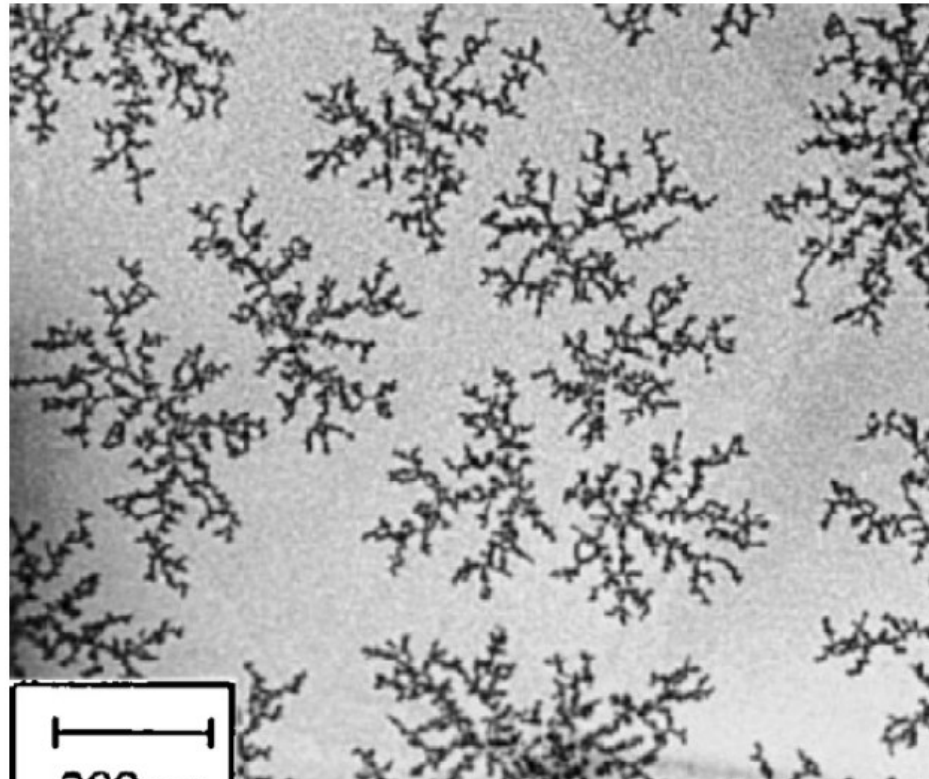
”Kuviteltujen tilanteiden” argumentaatio: Meidän on mahdollista hahmottaa/kuvitella havaitulle todellisuudelle ristiriitaisia asioita. Itse asiassa niin on tehtävä, jotta ymmärtäisimme maailmaa.

Occamin seuraajat, niin sanotut Oxfordin kalkulaattorit, tutkivat esimerkiksi liikkeen ja kiihtyvyyden lainalaisuuksia ajatuskokeiden avulla. Ristiriidaton ajattelu oli keskeistä. Mittalukujen sijasta tarkasteltiin suureiden suhteita.

Juti 2019

## Antimoniatomeja hiilikalvon pinnalla

Fyysiset ja hallitut kokeet paljastivat kansanfysiikan heuristiikkojen puutteet ja ovat laajentaneet empiirisen tiedon piiriä yli aistien rajojen.



Transmission electron microscopy image of typical island morphologies after deposition of Sb<sub>2300</sub> clusters on graphite. (P. Jensen, Rev. Mod. Phys. 71 (1999) 1695.)

JAMES WEBB SPACE TELESCOPE

# TARANTULA NEBULA | NGC 2070



© NASA



# Pitkä tie tieteelliseen fysiikkaan

## Kansanfysiikan aika

- Tietomme ulottuu vain aikaan, josta on jäänyt kirjallisia lähteitä.

Päätelyihin perustuva yritys systematisoida fyysisen todellisuuden ymmärtämistä.

- Logiikasta tulee vallitseva metodi.

Keskiajalla vähitellen syntynyt havaintoihin ja ajatuskokeisiin perustuva analyysi

- Kokeellinen fysiikka ei syntynyt hetkessä.

## Klassinen fysiikka

- ensimmäinen matemaattisen fysiikan aalto, kokeellinen menetelmä

## Moderni fysiikka

- hämmästyttävän hyvin toimivat teoriat
- Ympäristömme on kovin erilainen kuin hahmotuksemme siitä.

# Tieteellisen fysiikan piirteitä

## Rakenne vailla merkityksiä ennustaa oikein!

Russell: "Matematiikka voidaan määritellä alaksi, jolla ei koskaan tiedetä, mistä puhutaan tai onko se mitä sanotaan totta."

Juti 2001, s. 94, Russell 1917

Matematiikka voi viedä meidät empiirisen tiedon ulkopuolelle:

- Kootaan tutkittavaa fysikaalista systeemiä koskeva kokeellinen tieto matemaattiseen muotoon käyttäen soveltuvaa matemaattista rakennetta/mallia.
- Huolehditään, että malli ennustaa systeemin aikakehitystä ja antaa kvantitatiivisesti kokeisiin sopivia tuloksia ainakin kohtuullisella tarkkuudella.
- Huomataan, että malli ennustaa myös jotain, mitä kokeellisesti ei ole havaittu.
- Havaitaan ennustettu ilmiö kokeellisesti.

?

Luonnonfilosofisesti mielenkiintoinen kysymys on, että on oikeasti havaittu hiukkasia, joita matemaattinen malli on ennustanut.

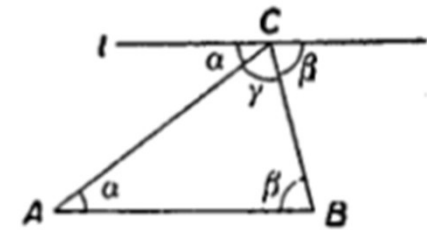
- Jossain määrin luonnon arvoituksia voidaan tutkia ajattelemalla!
- Onko teoreettisen fysiikan toimintamalli ottanut tehtävän, joka antiikissa annettiin logiikalle?
- Voidaanko aina luottaa siihen, että kaikki hyvin toimivan teorian ennustamat ilmiöt ovat myös empiirisesti olemassa?

# Vaihtoehtoiset mallit

Fyysisen ympäristön hahmotuksista voi muodostaa matemaattisia rakenteita vaihtoehtoisilla tavoilla.

Geometriaa voidaan ajatella erilaisista, keskenään ristiriidattomista näkökulmista:

- Klassinen geometria - viiva on pisteen piirtämä ura
- Analyttinen geometria - vektoriavaruus  $(x,y,z)$
- Lisäksi topologia on läheinen sukulainen: kahvikuppi ja donitsi ovat saman muodon ilmentymiä



Kuv. 33.

Kolme keskenään ristiriidatonta muotoilua mekaniikalle:

- Newtonin mekaniikka:  $F=ma$
- Lagrangen mekaniikka: variaatioperiaate
- Hamiltonin mekaniikka: systeemiä kuvaa Hamiltonin funktio, kvanttimekaniikan perustana, liike faasiavaruudessa

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}, \quad \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) = \frac{\partial L}{\partial q_j} \quad \frac{dq}{dt} = \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial p}, \quad \frac{dp}{dt} = -\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial q}.$$



# Sylinterin muotoinen virtahepo



# Erikoisteoriat vs. kaiken teoria

Approksimaatiot ovat keskeinen elementti myös teorioiden muodostuksessa.

**Erikoisteoria:** Ilmiöjoukkoa riittävän tarkasti mutta selkeästi kuvaava matemaattinen malli

**Kaiken teoria:** Kaikkia tunnettuja vuorovaikutuksia kuvaava yhtenäisteoria.

Ehto: Ei selvittämättömiä ristiriitoja erikoisteorioiden kesken.

Pirstoutunut fysiikka on käytännön tilanteissa havainnollisempaa, mutta ei tarjoa yhtenäistä tieteellistä maailmankuvaa ilman laaja-alaista yhtenäisteoriaa.

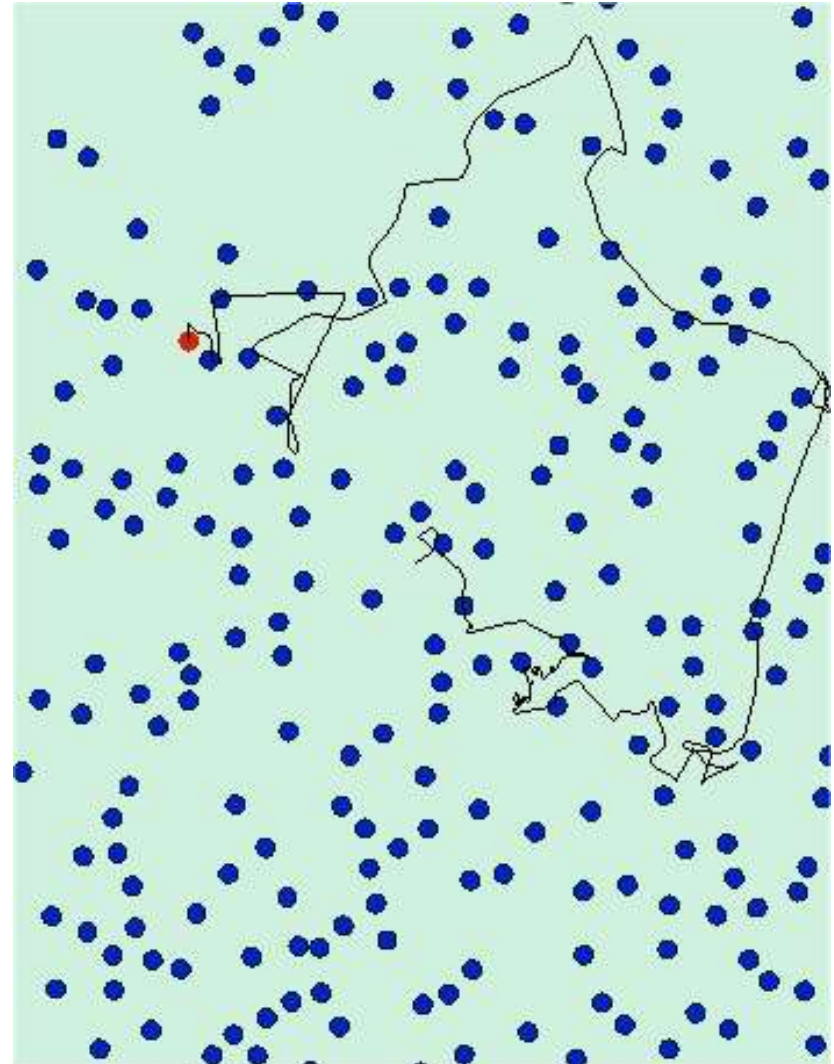
Millaista yhtenäisteoriaa tavoittelemme? Riittääkö pirstaloitunut fysiikka?

# Ideaalikaasu

$$pV = nRT$$

Ideaalikaasun tilanyhtälö:

- $p$  on kaasun paine (Pa),
- $V$  on kaasun tilavuus ( $\text{m}^3$ ),
- $n$  on kaasun ainemäärä (mol),
- $T$  on lämpötila (K).
- $R$  on kaasuvakio  $8.314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ .





## Voiko fysiikkaa ymmärtää ilman matematiikkaa?

Oiva Ketonen 1948: *"Yleisen suhteellisuusteorian periaatteille voidaan antaa havainnollinen tulkinta, mutta sen ydin on kuitenkin puettavissa vain Riemannin geometrian matemaattiselle kielelle. Sille, joka ei sitä ymmärrä, sen syvin merkitys jää peruuttamattomasti salaisuudeksi. Periaatteiden havainnollinen tulkinta, olkoon se kuinka täydellinen tahansa, ei voi tämän matemaattisen kielen ilmaisukykyä korvata."* Juti 2001, s. 247

Kysymys on kielestä: 
$$\int |\psi|^2 dV = 1$$

Ratkaisua haetaan tulkinnoista ja/tai perusoletuksiin keskittymisestä.

Perusoletuksia ei kuitenkaan voida täysin arvioida, jos ei ymmärretä, millaiseen matemaattiseen kontekstiin ne on muotoiltu.

# Teorian tulkinta

Teorian tulkinta tarkoittaa, että ”sisällöllisesti tyhjän” matemaattisen mallin olioille annetaan merkityksiä.

Tulkintaa tarvitaan:

- Miten teoria pitäisi muotoilla, jotta se olisi intuitiivisemmin hahmotettavissa (esimerkiksi Bohmin intuitiivinen menetelmä)?
- Mikä on teorian merkitys tieteellisen maailmankuvan muodostamisessa?

# Instrumentalismi

## **Käytännön instrumentalismi**

Suuri osa fysiikasta on kvanttimekaniikan soveltamista tavoilla, joissa tulkinta ei ole keskiössä.

## **Metodinen instrumentalismi**

Näkemyks, että on parempi toimia ilman tulkintaa kuin altistua ahtaan tulkinnan rajoituksille tai tulkinnan herättämille näennäisille pohdinnoille. Olemusajattelu nähdään riskiksi.

## **Filosofinen instrumentalismi**

Psykologisin, filosofisin tai maailmankuvallisin perustein kiistetään tulkinnan mahdollisuus.

# Fysiikka on kokeellinen tiede

Kaikesta matematiikasta ja tulkinnallisuudesta huolimatta, fysiikka on ennen kaikkea kokeellinen tiede.

# Luottamus tieteeseen

Uskon, että ...

- Aine muodostuu atomeista.
- On olemassa neutriinoja.
- Linnunradan keskiössä on musta aukko.

Tieteellinen tieto ei perustu suoraan aistihavaintoon eikä edes toisen käden tietoon aistihavainnoista.

Perustana on yleinen luottamus tieteeseen (tieteellinen maailmankuva).

Empiirinen todistus muodostuu usein lukuisista erilaisista havainnoista (atomien olemassaolo ja rakenne).

Ilmiötä tarkastellaan osana laajaa teoreettista ja kokeellista kontekstia.

Tiede kehittyy tiedeyhteisössä, jolla pitää olla luottamusta herättävät normit.



# Metafysiikkaa

# Äärimilleen pelkistäminen

Äärimilleen tiivistettynä ja vastakohtikseen kärjistettynä on kaksi näkökantaa:

- Ymmärryksemme on heijastuma "kosmoksen prinssiipeistä" ja siksi mahdollisuuksiensa suhteen rajoittamaton.
- Ymmärryksemme on aivotoimintaa rajoituksineen ja siksi ymmärryksemme voi tavoittaa vain osan kosmoksen ilmiöistä.

Luonnollisesti voidaan muotoilla monia muitakin väitteitä.

# Humility thesis

Episteeminen kykymme on rajoitettu, joten todellisuudesta heijastuu mieleemme vain osa.

Aistien psykofyysiset rajoitteet

- Esimerkiksi röntgensäteet tai radioaallot
- Kokeellinen fysiikka ja matematiikka auttavat pääsemään yli.

Episteeminen rajoitus

- Hermoverkkomme ei kykene kuin tiettyjen todellisuuden puolien hahmottamisen edes matematiikan ja logiikan avulla.

Vasta-argumenttina vetoaminen kognitiiviseen vinoumaan:

- Kategorisoimme "sen mitä voi tietää" ja luomme sille erheellisesti vastakohtan "se mitä ei voi tietää".
- Maailma on se, mitä aistein ja teknisin laittein voimme nyt ja tulevaisuudessa havaita.

# Russell

Russellin mukaan hahmotamme eräänlaisen kausaalisen kehyksen todellisuudesta, mutta emme pysty hahmottamaan aineen ja energia sisäistä luonnetta (intrinsic character). Koemme vain sen osan sisäisestä luonteesta, joka ilmenee aisteillemme.

Oma kommentti: Tietomme kognition toiminnasta antaa pohjaa tälle näkemykselle. Vastausta se ei kuitenkaan anna.

Syvällisempää tietoa:

Humility Regarding Intrinsic Properties. Internet Encyclopedia of Philosophy  
<https://iep.utm.edu/humili-p/>

