Kvanttitilojen informaatiosta

Kullervo Rainio
emer. prof., Helsingin yliopisto

Information may not be just what we learn about the world.
It may be what makes the world.
John Archibald Wheeler

Sisällys

1.	Johdanto	s. 3
2.	Tilavektorin ja transitiomatriisin informaatio	s. 5
2.1.	Vektorin informaation laskukaava	s. 5
2.2.	Esimerkkejä tilavektoreitten informaatiomääristä	s. 6
2.3.	Tilavektorin pituus ja informaatio	s. 8
3.	Informaatio systeemin kvanttievoluutiossa	s. 9
3.1.	Lähtömatriisin ja ominaismatriisin informaatiovertailuja	s. 9
3.2.	Vektorin epähomogeenisuuden vaikutus matriisin informaatioon	s. 12
2.4	Erityistapaus: Heikosti yhtenäinen transitiomatriisi	s. 13
4.	Systeemien informaatio-vuorovaikutus, vektori- interferenssi[1]	s. 14
4.1	Vektorin ja sen inversiovektorin interferenssi	s .15
4.2.	Likiarvot ja tarkat arvot, ”kvanttivaahto” (quantum foam)	s. 17
4.3	Osittaisen interferenssin olettamuksesta	s. 18
5.	Systeemin informaation väheneminen, kasvaminen ja stabiloituminen. Systeemin ”häviäminen”	s. 19
6.	Annihilaatio ja informaatio-energia -ekvivalenssi	s. 22
7.	Päätelmiä ja mietteitä	s. 26
	Ainepartikkelin informaation paradoksi	a. 27
	”Informaatiokvantti” ja ”transitiokvantti”	s. 27
	Negentropiasta	s. 29
	Informaatiofilosofiasta	s. 30
	Informaatiotyhjiö	s. 33
	Kirjallisuutta	
	Liite 1. Jodi-131:n radioaktiivinen hajoaminen	s.36
	Liite 2. Tilavektorin jakaminen useampiin luokkiin, esimerkkejä	s.39

Abstract: Information of the quantum states
The aim of this article is to show how the framework of discrete quantum mechanics makes possible to compute the Shannon-information of the quantum state vectors and study the change of information during the evolution process. We shall see what kind of effect the structure of the transition matrix has on the process: would it be ergodic (continuously increasing the information) or does it maximize the entropy. – The “active information” concept used by David Bohm will be defined mathematically. – The effect of the system’s interaction upon their information will be analyzed – particularly from the annihilation aspect. The information-energy equivalence and the information quantum are computed. – In the last chapter, the results are analyzed from the information-philosophical viewpoint.

Keywords: annihilation, constructive, destructive, discrete quantum mechanics, entropic, ergodic, information, information-philosophy, state vector, transition matrix

---

[1] Vektori-interferenssistä ja inversiovektoreista ks. Rainio-Malaska, 2011c.

Avainsanoja: annihilaatio, destruktiivinen, diskreetti kvanttimekaniikka, ergodinen prosessi, informaatio, informaatiofilosofia, konstruktiivinen, tilavektori, transitiomatriisi

Tiivistelmä: Artikkelin tarkoituksena on osoittaa, että diskreetin kvanttimekaniikan viitekehys mahdollistaa tilavektorin Shannon-informaation tarkan laskennan ja informaation vaihtelun tutkimisen systeemin kvanttievoluution aikana. Nähdään, miten transitiomatriisin rakenne vaikuttaa siihen, tuleeko evoluutiosta ergodinen (konstruktiivinen, informaatiota lisäävä) prosessi vai päätyykö se entropian maksimoitumiseen (ja informaation katoamiseen). (Tässä tarkastelussa tulee samalla Bohmin "aktiivinen informaatio" matemaattisesti määritellyksi.) – Systeemien informaatio-vuorovaikutusta tutkitaan vektori-interferenssejä analysoimalla ja tällöin kiinnitetään erityistä huomiota annihilaatioon. Informaatio-energia –ekvivalenssi ja informaatiokvantti lasketaan. – Viimeisessä luvussa liitetään tarkastelu laajempaan yhteyteen, informaatiofilosofiaan.

1.Johdanto

Erityisesti fysiikan filosofista taustaa tutkivien filosofien piirissä on nousemassa vahvasti esiin kysymys olevaisen fundamentaalisista rakennetekijöistä. Onko se, mistä kaikki rakentuu, ainetta vai energiaa vai kenties informaatiota (joka on tullut ”uutena tulokkaana” viimeisenä näistä mukaan keskusteluun) – vai tarkoittavatko ehkä nämä eri nimellä kulkevat käsitteet loppujen lopuksi samaa?

Keskustelu on toistaiseksi ollut varsin hajanaista ja väärinymmärryksiinkin johtavaa. Nimenomaan maallikoitten keskuudessa tämä aiheutuu erikoisesti siitä, että sekoitetaan toisiinsa *semanttinen informaatio* ja *ns. Shannonin eli tekninen informaatio*. Edellinen on tunnetumpi, koska se esiintyy ihmisten välisessä kommunikaatiossa viestisisältöinä: viesti on merkityksellinen, sen merkitys koodataan symboleilla ja saatetaan tässä (fyysisessä) muodossa vastaanottajan tajuntaan, jossa se dekoodataan eli tulkitaan esiin viestin merkitys. Shannonin informaatio puolestaan on jotakin aivan muuta: se on laskelma informaation *määrästä* – piittaamatta mitään sen sisällöstä eli merkityksestä.

Tässä artikkelissa tarkastellaan yksinomaan Shannon-informaatiota. Semanttinen informaatio on syytä unohtaa.

Toinenkin rajaus tehdään: Tarkastelemme yksinomaan *kvanttisysteemin tilojen* informaatiota, emme ainehiukkasten tai -rakenteiden.

On aiheellista huomauttaa siitä, mitä tässä artikkelissa tarkoitetaan systeemillä. – *Systeemi on entiteetti, joka – identiteettinsä säilyttäen – etenee ajan mukana tilasta toiseen.* Se. mitä siitä voimme tietää, ei ole vastaus kysymykseen, *mikä* prosessina etenee, vaan kysymykseen, *miten* eteneminen tapahtuu. Kun on kysymyksessä kvanttisysteemi, ajattelemme, että se tapahtuu hyppäyksenomaisina siirtyminä stokastisesti, ”arvottuna” transitiomatriisin todennäköisyyksien mukaisesti. Jos tai kun systeemi asettuu pysyvään tilaan, on mahdollista saada systeemistä jäsentävää tietoa, jonka perusteella se voidaan luokitella ja nimetä. Kvanttisysteemissä tämä tapahtuu ainepartikkelin absorboituessa esiin prosessista[2].

Kvanttisysteemejä käsitellään tässä artikkelissa *diskreetin kvanttimekaniikan* (discrete quantum mechanics, DQM)[3] mukaisesti, tarkemmin sanottuna niin kuin ne kuvataan diskreetissä prosessimallissa[4] (discrete process model, DPM).

Käsittelemme vain suljettuja systeemejä.

Tämä artikkeli pyrkii selvittelemään maailmamme tulkinnan kannalta perimmäisten käsitteiden – kuten aine, entropia ja (Shannon) –informaatio – välisiä suhteita

---

[2] Joskus joku huomattavakin tutkija näyttää ajattelevan, että vasta aineen yhteydessä voidaan puhua informaatiosta. Niinpä Robert Doyle kirjoittaa: “Material particles are the first information structures to form in the universe.” (Doyle, 2011) Tämä on ilmeisesti puutteellinen näkemys. Systeemeillä on myös superpositiotilassa, virtuaalisina, oma informaatiorakenteensa (transitiomatriisi).

[3] Ks. esim. Gudder, Stanley (1986): Discrete Quantum Mechanics. J. Math. Physics, *27*, 1782 (1986)

[4] Rainio, 2006, 2008, 2009, 2011a, 2011c

kiinnittämällä huomiota niiden matemaattiseen määrittelyyn. Joudumme etsimään vastauksia – ainakin jotakin selvyyttä – sellaisiin kysymyksiin kuin:

Onko informaatio = negatiivinen entropia? – Laskukaavojen mukaisesti se on. Norbert Wiener on antanut tähän myös selvän vastauksen: "Kvantiteetti, jonka määrittelemme informaation määräksi, on sen kvantiteetin negaatio, jonka määrittelemme entropiaksi samanlaisessa tilanteessa."[5]

Onko energia = negatiivinen entropia? – Jos on näin, silloin energia = informaatio! Se, että voidaan esittää informaatio-energia-ekvivalenssi, näyttäisi viittaavan siihen, että vastaus todella on myönteinen (Gough, 2011).

Onko Bohmin *aktiivinen informaatio* (ks. esim. Pylkkänen, 2007) sama kuin tässä artikkelissa käsiteltäväksi tuleva transitiomatriisin informaatio? – Kysymys on toistaiseksi avoin, koska Bohm ei esittänyt ideastaan matemaattisesti tulkittavia yksityiskohtia[6].

Artikkelissa keskitytään yksinomaan kvanttimekaanisen tilavektorin ja transitiomatriisin informaatiomäärän mittaamiseen. Tästä ei kvanttifysiikan julkaisuissa löydy paljonkaan tietoa, mihin luultavasti yksi syy on se, että diskreetti kvanttimekaniikka on ollut pitkään kovin vähän harrastettu valtavirran suosiman Schrödingerin aaltomekaniikan rinnalla. Kuitenkin tilavektorien informaation tutkimuksella olisi paljon annettavaa luonnonfilosofiassa, eritoten ontologiassa.

Artikkelin 2. luvussa esitetään Shannon-informaation ja entropian mittarit ja luvussa 3 tarkastellaan niitä informaation määrän muutoksia, joita erilaiset kvantti-evoluution prosessit tuottavat. Neljännessä luvussa tutkitaan systeemien vuorovaikutusta systeemien kietoutumisen (entanglement, myös: lomittuminen) tuottamien interferenssien vaikutuksena tilavektoreiden informaatioon. Viides luku johdattaa informaatio-filosofiseen ontologiaan. Huomio kiinnitetään siinä systeemien alkukehitykseen, vaikutuksen määrään, ergodisiin[7] eli konstruktiivisiin prosesseihin, entrooppisiin prosesseihin eli destruktioon ja systeemien häviämiseen. Seuraava luku, joka käsittelee annihilaatiota ja jossa sen avulla lasketaan informaatio/energia -ekvivalenssi, tarjoaa mahdollisuuden informaatiomuutosten ja energiamuutosten vertailuun.

Loppulukuun on valikoitu joitakin filosofisia näkökulmia, joita kvanttitilojen informaation analyysi avaa, ja tarkastellaan sitten tuloksia laajemmasta, informaatiofilosofisesta perspektiivistä.

2.Tilavektorin ja transitiomatriisin informaatio

2.1.Vektorin informaation laskukaava

[5] "The quantity we define as amount of information is the negative of the quantity usually defined as an entropy in similar situations."

[6] Luvussa 7 kohdassa "Informaatiofilosofiasta" palataan asiaan. Myös Liite 1 havainnollistaa asiaa.

[7] Ergodisilla prosesseilla tarkoitetaan konstruktiivisia, informaatiota lisääviä ja entropiaa vähentäviä prosesseja. "The destructive forces are entropic; they increase entropy and disorder. Constructing forces are anti-entropic. They increase the order and information. We call them ergodic." (Doyle, 2011)

Kvanttitila esiintyy *tilavektorina* superpositiomuodossa systeemin transitiomatriisissa. Tilavektorin *informaation* laskukaava (mm. teoksessa Rainio, 2008, ja artikkelissa Rainio & Malaska, 2011c) on seuraavanlainen:

$$\text{Informaatio} = [\log(n) + \sum_{i=1}^{n} p_i \log(p_i)]/\log(2)$$

jossa p:t ovat tilavektorin elementit ja n niiden lukumäärä.
Tässä informaation laskukaavassa jälkimmäinen osa ilmaisee *entropian* määrää:

$$\text{Entropia} = -[\sum_{i=1}^{n} p_i \log(p_i)]/\log(2)$$

Huomautus: Jotta entropia ilmaistaisiin positiivisella luvulla, on miinus-merkki asetettu ∑-lausekkeen eteen, sillä $\log(p_i) \leq 0$, joten muuten entropian määräksi tulisi negatiivinen luku. Vastaavasti informaation laskukaavassa on merkki +, koska informaation katsotaan *vähenevän* entropian lisääntyessä.

Informaation kaava on siis täydellisemmässä muodossa:

$$\text{Informaatio} = \{\log(n) - [-\sum_{i=1}^{n} p_i \log(p_i)]\}/\log(2)$$

Entropia saadaan informaatiosta kaavalla:
Entr = log(n)/log(2) – Info

Erityisen mielenkiintoisia seuraavassa tarkastelussa ovat *homogeenisen* vektorin ja *yksikkövektorin* informaatio ja entropia. Niiden laskukaavat voidaan johtaa edellisistä, kun otetaan huomioon, että $p_{(H), i}$ on homogenisessa vektorissa aina = 1/n, kun n on vektorin pituus eli elementtien lukumäärä.

Homogeenisen vektorin entropia ja informaatio:

Sijoitetaan entropian laskemisen kaavaan todennäköisyyden p paikalle 1/n.

$$\text{Entropia} = -[\sum_{i=1}^{n} (1/n) \bullet \log(1/n)]/\log(2)$$

Tällöin summalauseke muuttuu muotoon 1• (–log(n)) ja
$\text{Entropia}_H = -[-\log(n)]/\log(2)$ ja edelleen
$\text{Entropia}_H = \log(n)/\log(2)$, joten homogeenisen vektorin entropia riippuu vain vektorin pituudesta.
Kun informaatio = log(n)/log(2) – Entropia, homogeenisen vektorin informaatio on siis:
$\text{Informaatio}_H = \log(n)/\log(2) - \log(n)/\log(2) = \mathbf{0}$ bittiä.

Yksikkövektorin entropia ja informaatio:

Esim.: Olkoon yksikkövektori (1, 0, 0, 0). Sen entropia-lausekkeessa

$\text{Entropia}_Y = -[\sum^{n} p_i \log(p_i)]/\log(2)$ on $p_1 = 1$ ja muut p:t 0:ia.

i=1

summalausekkeessa $p_1 \log(p_1) = 1 \bullet 0 = 0$ ja koska muut p:t ovat 0:ia, $p_i \log(p_i)$ on jokaisen i:n tapauksessa 0, joten $\text{Entropia}_Y = 0$

Vastaavasti e.m. yksikkövektorin informaatio = log(4)/log(2) – 0 = 2 bittiä.

(Vektorin (1, 0) informaatio on vastaavasti = log(2)/log(2) – 0 = 1 bitti)

Huomautus: *Transitiomatriisin informaation mitta on riviviektoreitten informaatiomittojen summa.*

2.2.Esimerkkejä tilavektoreitten informaatiomääristä

Homogeenisen vektorin informaatio = 0 (ks. s. 5).

Tilavektorin (Markov-) vektorin informaatiomaksimeja ovat:

n=2: Info(1, 0) = 1 bitti ja Inf(0,1) = 1 bitti

n=4: Info(1,0,0,0) = 2 bittiä; elementtien järjestyksellä ei ole vaikutusta

n=8: Info(1,0,0,0,0,0,0,0) = 3 bittiä

jne.

Muita esimerkkejä:

Info(.2, .3 .5) = .0995 bittiä

Info(.1, .2, .3, .4) = .15 bittiä

Info(.48, .24, .16, .12) = .21 bittiä

Info(.25, .25, .25, .25) = 0 bittiä (vektori homogeeninen)

Yhtenä esimerkkinä voidaan tarkastella diskreetin kvanttimekaniikan valossa kaksoisrakokokeesta Tonomuran ilmoittamien osumien tulosfrekvenssien vektoria ja sen informaatiota (Kuva 2.1 ja Taulu 2.1). Tällä tarkastelulla on oma merkityksensä siksi, että siinä on kysymys *empiirisistä* tuloksista.

Akira Tonomura on tehnyt kuuluisan kaksoisrakokokeen yksi elektroni kerrallaan ja saanut tulokseksi osumina varjostimelle interferenssikuvion (Tonomura, 2003, Rainio, 2008, pp. 20-21). Kun osumien jakautuma jaetaan tasavälein "siivuiksi" saadaan esimerkiksi 8 tällaisen alueen osumien luokkafrekvenssit. Kun nämä muutetaan suhteelliseksi frekvensseiksi, saadaan näkyviin todennäköisyyksien vektori (Taulu 2.1)

Kun tässä yhden elektronin käsittävä systeemi on säteilynä superpositiomuodossa, sen rilavektorin informaatio on siis .218 bittiä, suhteellisen pieni. Koko systeemin informaatio on kuitenkin koko transitiomatriisin informaatio eli 8 x .218 bittiä = 1.744 bittiä.

Kun saadaan osuma eli kun elektroni realisoituu määrättyyn tilaan (absorboituu) ja "syntyy" aineellinen partikkeli, tilavektorin informaatio kasvaa ja on 3.0 bittiä. (Tästä tarkemmin sivulla 26.) Vastaavasti entropia saa arvon 0.

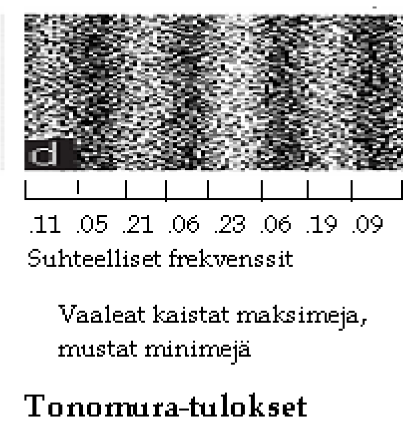
Huomattakoon siis, että laskenta on tehty *empiiristen* tulosten perusteella. (Valittu kuvaustapa vaikuttaa jossakin määrin tulokseen, esimerkiksi luokkien lukumäärä. Siitä enemmän luvussa 2.3 ja sivulla 26.)

Kvanttisysteemillä on siis tietty "sisäinen" informaatio, joka voidaan laskea tilavektorista.

===

Kuva 2.1. Tonomuran kokeen tulos osumakuviona

Noin 2000 osumaa. Luokkavälit ja suhteelliset frekvenssit kuvion alla.



===

==

Taulu 2.1. Tonomuran tulokset kaksoisrakokokeesta tilavektorina ja sen informaatio

	Osumaluokat								
	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	∑
p:	.11	.05	.21	.06	.23	.06	.19	.09	1

Informaatio = .218 bittiä. (Entr = 2.782)

==

Huomautus: On mielenkiintoista tutkia jo klassiseksi muodostunutta kaksoisrakokoetta tilavektoreitten informaation kannalta. DPM tarjoaa siihen hyvin yksinkertaisen keinon: Kokeilemalla ”arvataan” vektorit, joiden mukaan prosessi kulkee rakojen kautta, toinen (R1) vastaten rakoa 1 ja toinen (R2) rakoa 2. Kummankin informaatio voidaan laskea erikseen. Edelleen: Lasketaan R1- ja R2-vektoreitten interferenssi.

Olkoon R1 = (.16, .1, .2, .1, .16, .08, .14, .06) ja

R2 = (.14, .08, .16, .1, .2, 1, .16, .08), jolloin niiden interferenssi on

Interf. = (.16, .06, .23, .07, .23, .06, .16, .04)

Saatu interferenssivektori on hyvä estimaatti empiirisille Tonomuran tuloksille. Se näkyy myös informaatiovertailussa: *Emp.: .218, Estim.: .238.* – Mainittakoon lisäksi: Info(R1) = .093 ja Info(R2) = .045 sekä niiden summa = .138, siis huomattavasti pienemmät informaatioarvot kuin interferenssivektorilla.

Toisena empiriaan sitoutuvana esimerkkinä on liitteessä 1 esitetty Jodi-131:n ytimen hajoaminen kvanttievoluutio-prosessina. Se on samalla, *mutatis mutandis*, esitys kuuluisan Schrödingerin kissan kvanttievoluutiosta ja informaation muutoksista sen aikana.

2.3. Tilavektorin pituus ja informaatio

Transitiomatriisin muoto – ja siis sen informaatiokin – on aika-askeleen pituudesta riippuvainen, mutta *ominaismatriisin informaatio on ajan suhteen vakio.*

Jos ominaismatriisin tilavektori on yksikkövektorimuotoa (1, 0, 0, …), sen informaatio on maksimissaan ja riippuu vain vektorin pituudesta n. Tarkemmin sanoen Info = log(n)/log(2) bittiä; n = vektorin pituus elementteinä.

Jos esim. $n = 10^9$ eli 1 mrd, Info on noin 30 bittiä. Jos $n = 10^{12}$ eli tuhat mrd, Info on noin 40 bittiä. Realistinen tarkastelu edellyttäisi liikkumista tämän suuruusluokan luvuissa, mutta pienet vektorit ja matriisit ovat omiaan havainnollistamaan asioita.

DPM:ssä on tulkittu kvanttisysteemin *stabiloivan vektorin* (ykkösvektori, jossa nimenomaan tilaan i pysyvästi jäämisen todennäköisyys $p_{i,i} = 1$) merkitsevän sitä, että systeemi tilassa i esiintyy *aineellisena* partikkelina. Tämän hiukkasen informaatiomitta on nyt joko 1 bitti, 2 bittiä, 3 bittiä jne. riippuen siitä, onko tilavektorissa 2, 4 vai 8 tilaelementtiä jne. – Jos rohkeasti oletamme, että informaatio = energia (sopivasti skaalattuna) ja energia = massa, voisimme – olettaen että tunnemme hiukkasen massan – päätellä systeemin kvanttimekaanisesta rakenteesta sen, että systeemillä on kvanttiolomuodossa tietty määrä mahdollisia tiloja. Toinen mahdollisuus olisi se, että tulkitsisimme vain aidon superpositiotilan (sellaisen, jossa ei tilavektorissa esiinny ainakaan absoluuttista 1:tä, enintään likiarvona) kvanttimekaaniseksi ja katsoisimme pysyvän tilan kuuluvan klassisen fysiikan piiriin, jolloin hiukkassysteemin "tilavektoriksi" tulisi $\mathbf{P}(p_A , p_{ei\text{-}A})$ eli aina (1,0). Koska klassisen systeemin tapauksessa $p_A = 1$, ei ole mieltä jakaa ei-A:ta useaksi vaihtoehtoiseksi mahdollisuudeksi, koska niihin siirtymisen todennäköisyydet ovat 0:ia eivätkä siis ole *todella* käytettävissä. (Ks. myös s. 26.)

Huomautus: *Tilavektorin muuttaminen niin, että jokaisen todennäköisyyselementin todennäköisyys jaetaan tasan kahdelle elementille, ei muuta vektorin informaatiota.* Tästä on esimerkkejä taulussa 2.2.

==

Taulu 2.2. Tilavektorin elementtiluvun kahdentaminen

	Tilavektori:	Inform.:	Kahdennettuna:	Informaatio:
A	1, 0	**1.0**	.5, .5, 0, 0	**1.0**
B	.4, .6	**.029**	.2, .2, .3, .3	**.029**
C	.2, .3 .5	**.0995**	.1, .1, .15, .15, .25, .25	**.0.995**

Kahdennettu C kahdennettuna:

.05, .05, .05, .05 .075, .075, .075, .075, .125, .125, .125, .125 **.0995**

Muita muutoksia:

.2, .3 .5	.0995	.2, .15, .15, .5	.2145
.4, .6	.029	.4, .3, .3	.0140

==

Taulusta 2.2 kannattaa erikoisesti panna merkille, että myös todennäköisyys 0 on jaettava, sillä esimerkissä A vektorin (1, 0) kahdentaminen vektoriksi (.5, .5, 0, 0) säilyttää informaation samana (1.0), kun sen sijaan vektorin (.5, .5, 0) informaatio on eri (.585) .

Liitteessä 2 on lisää esimerkkejä luokkien lisäämisestä.

3. Informaatio systeemin kvanttievoluutiossa

3.1.Lähtömatriisin ja ominaismatriisin informaatiovertailuja

Lähtömatriisiksi nimitämme transitiomatriisia prosessin alussa. Ominaismatriisi voidaan likimääräisesti laskea korottamalla lähtömatriisi potensseihin niin monta kertaa, että vaakarivit tulevat identtisiksi tietyllä tarkkuudella. (Tässä tarkastelussa tuo tarkkuus on yleensä 3 desimaalia.) Ominaismatriisin eksponentti ilmaisee, kuinka monta aika-askelta prosessi on käynyt läpi. Olkoon tämä eksponentti eli näiden aika-askelten määrä t_{OM}. Jos kuvausta muutetaan niin, että aika-askel otetaan t_{OM}:n mittaiseksi, prosessin evoluution kuvaajaksi tulee ominaismatriisi.

Taulussa 3.1 on esimerkkinä käsitelty yksinkertaista tapausta: on ajatuskokeena tarkasteltu radioaktiivisen aineen yhden hiukkasen systeemin kvanttievoluutiota. Olettakaamme, että tutkimuksissa on voitu selvittää tällaisen systeemin ns. puoliutumisaika, se ajanjakso, jonka kuluessa jostakin ainemäärästä puolet atomien määrästä on säteillyt kukin yhden kvantin (ja puolet on edelleen säteilemättä, "odottamassa vuoroaan"). Jos oletamme, että yhden systeemin (yhden atomin) transitiotodennäköisyys yhden aika-askeleen kuluessa on p, saamme esim. matriisipotensseja laskemalla selville, montako aika-askelta sisältyy puoliutumisaikaan ja samalla pääsemme tutkimaan systeemin informaation muutoksia. (Itse asiassa olisi tiedettävä myös ensimmäisen aika-askeleen hetki eli se ajankohta, jona systeemi on saatettu säteilyn mahdollistavaan tilaan.) -- Taulussa 3.1 p:n arvoksi on otettu .2.

===

Taulu 3.1 . Säteilevän systeemin kvanttievoluutio

	Transitiomatriisi eli lähtömatriisi:		Matriisipotensseja:							
	M		**M^2**		**M^3**		**M^5**		**M^7**	
	s0	s1	s0	s1	s0	s1	s0	s1	s0	s1
s0	.8	.2	.64	.36	**.51**	**.49**	.33	.67	.21	.79
s1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Info:	1.28		1.06		1.0003 (Puoliutuminen)		1.09		1.26	

	M^{10}		**M^{20}**		**M^{30}**		**M^{35}**	
	s0	s1	s0	s1	s0	s1	s0	s1
s0	.1	.9	.012	.988	.001	.999	0	1
s1	0	1	0	1	0	1	0	1
Info:	1.53		1.91		1.989		2.0	

===

Huomataan, että systeemin transitiomatriisin informaatio muuttuu ajan (aika-askelten määrän) muuttuessa. Prosessin alussa pienenee ”varmuus”[8] siitä, että systeemi on pysynyt tilassa s0 (= ”ei vielä säteillyt”). Tämä varmuus pienenee minimiinsä eli epävarmuus maksimiinsa. – Havainnollisesti sanoen veikkauksella, että puoliutumis-ajankohtaan tultaessa säteily on tapahtunut (Geiger-mittari napsahtanut), on todennäköisyys ½ onnistua. Tämän tilanteen maksimi-epävarmuus näkyy siinä, että s0-tilan tilavektorin (.5, .5) informaatio = 0.

Prosessin myöhemmässä vaiheessa tilanteen epävarmuus vähenee ja varmuuden kasvu näkyy informaation lisääntymisenä. Lopuksi, kun ominaismatriisi on saavutettu (tosin vain 3 desimaalin tarkkuudella), informaatio on huipussaan: s0-tilavektori on (0, 1) ja sen informaatio (1.0) siis maksimissaan (1.0 ja koko matriisin 2.0). (Ehdoton varmuus edellyttäisi äärettömän monta aika-askelta – kuten ydinjätteen varastoijat hyvin tietävät.)[9]

Edellä esitetystä voimme tehdä seuraavan johtopäätöksen:

Jos systeemin kuvauksessa aika-askeleeksi otetaan ajanjakso prosessin alusta ominaismatriisin saavuttamiseen, transitiomatriisi pysyy vakioisesti ominaismatriisina ja systeemin informaatio vakiona. Tämä ei merkitse sitä, että transitiomatriisin informaatio olisi maksimissaan, kuten seuraavasta huomaamme.

Taulussa 3.2 on lisää esimerkkejä informaation muutoksista kvanttievoluution tapahtuessa. Siitä näkyvä tulos osoittaa, että 1. tilavektorin tulee olla huomattavan epähomogeeninen, jotta se kykenisi kumoamaan homogeenisten rivivektorien entropiaa lisäävän vaikutuksen.

Taulu 3.2 osoittaa ennen kaikkea sen, ettei ominaismatriisin informaatio suinkaan aina osoittaudu suuremmaksi kuin lähtömatriisin vaan se voi olla huomattavasti pienempi, jopa 0, kuten tulemme huomaamaan. Oleellista sille, kasvaako vai pieneneekö informaatio ominaismatriisia lähestyttäessä, on se, miten lähellä homogeenista tai epähomogeenista lähtömatriisin rakenne on – kuten tulemme toteamaan.

[8] ”Varmuus” tarkoittaa tässä ”sieluttoman luonnon” varmuutta. ”Luonnon” prosessi tapahtuu *ikään kuin* ”luonto” olisi informaatiolaskelman ilmoittamassa määrässä ”varma”. Voimme ehkä sanoa, että se on *kvasivarma* , ja säilyttää näin ”varmuus” –termi yksinomaan tajunnallisen systeemin ominaisuutena. Tällainen varmuustila syntyy subjektissa silloin, kun hän asiantuntijana tulkitsee Shannon-informaation määrän sen *merkityksen* mukaan, *semanttisena* informaationa.

[9] Ks. myös liitettä 1.

==

Taulu 3.2. *Transitiomatriisin potenssien informaatiomittoja*

Esim. A:

Lähtömatriisi						Info
M	.24	.19	.19	.19	.19	.0069
	.2	.2	.2	.2	.2	0
	.2	.2	.2	.2	.2	0
	.2	.2	.2	.2	.2	0
	.2	.2	.2	.2	.2	0
						Info, koko matriisi: .0069+4x0=**.0069**

Ominaismatriisi						Info
$\mathbf{M}^2$	208	.198	.198	.198	.198	.0003
	208	.198	.198	.198	.198	.0003
	208	.198	.198	.198	.198	.0003
	208	.198	.198	.198	.198	.0003
	208	.198	.198	.198	.198	.0003 Info, koko matriisi: .0003x5=**.0015**

Esim. B:

Lähtömatriisi						Info
M	.4	.15	.15	.15	.15	.1510
	.2	.2	.2	.2	.2	0
jne.						Koko matriisi: .1510+4x0=**.1510**

Ominaismatriisi						Info
$\mathbf{M}^{10}$	250	.188	.188	.188	.188	.0082
	-"-					Koko matriisi: .0082x5=**.0410**
jne.						

Esim. C:

Lähtömatriisi						Info
M	.6	.1	.1	.1	.1	.551
	.2	.2	.2	.2	.2	0
jne,						Koko matriisi: .551+4x0=**.551**

Ominaismatriisi						Info
$\mathbf{M}^{10}$	.333	.167	.167	.167	.167	.0688
	-"-					Koko matriisi: .0688x5=**.344**
jne.						

Esim. D:

Lähtömatriisi						Info
M	.8	.05	.05	.05	.05	1.200
	.2	.2	.2	.2	.2	0
jne.						Koko matriisi: 1.2+4x0=**1.2**

Ominaismatriisi						Info
$\mathbf{M}^{14}$	.500	.125	.125	.125	.125	.3219
	-"-					Koko matriisi: .3219x5=**1.61**

jne. (Taulu jatkuu)
(Jatkoa)
Esim. E:

Lähtömatriisi						Info	
M	.96	.01	.01	.01	.01	1.9996	
	.2	.2	.2	.2	.2	0	
jne.						Koko matriisi:	1.9996+4x0=**1.9996**
Ominaismatriisi						Info	
$\mathbf{M}^{26}$	.833	.042	.042	.042	.042	1.3340	
	-”-					Koko matriisi:	1.3340x5=**2.67**
jne.							

Tiivistelmä:	A	B	C	D	E
$p_{1,1}$	(.24)	(.4)	(.6)	(.8)	(.96)
Info(LähtöM)	**.0069**	**.1510**	**.551**	1.20	1.9996
Info(OminM)	.0015	.0435	.344	**1.61**	**2.67**

Tiivistelmässä on $p_{1,1}$ = lähtömatriisin 1. todennäköisyys, Info(LähtöM) = koko lähtömatriisin informaatio ja Info(OminM) = koko ominaismatriisin informaatio. (Koska lähtömatriisissa rivivektorit ensimmäistä lukuunottamatta on valittu homogeenisiksi, niiden info=0, joten koko lähtömatriisin info on ensimmäisen rivivektorin info.) – Vertailussa on suuremmat vertailuluvut lihavoitu.
==

3.3.Vektorin epähomogeenisuuden vaikutus matriisin informaatioon

Taulussa 3.3 esitetään sarja matriiseja, joissa on pienennetty yhden tilavektorin epähomogeenisuutta ykkösvektorista (1,0,0,0) aina täyteen homogeenisuuteen (.25, .25, .25, .25) asti ja tarkastellaan matriisipotenssien informaation astetta.

Taulusta 3.3 näkyy, että ainoastaan A stabilisoituu ominaismatriisiksi, jossa rivit ovat ykkösvektoreita ja informaatio siis maksimaalinen 8.0. Informaation kasvu on tällöin alusta lähtien maksimaalisen nopeaa. Prosessissa B informaatio aluksi vähenee, mutta kasvaa sitten hitaasti. Prosessissa C informaatio on vähäinen ja laskee hieman, D:ssä ja E:ssä se on pieni ja vähenee siitäkin. F on homogeeninen matriisi, jonka informaatio on 0 ja pysyy sellaisena.

Taulusta 3.3 huomataan myös, että *stokastisessa kvanttimekaanisessa prosessissa transitiomatriisin sisältämä informaatio muuttuu ajan funktiona* – ***ilman ulkoisten tekijöiden vaikutusta.*** Se on omiaan herättämään kysymyksen, onko tässä esitetty transitiomatriisin informaatio sama kuin Bohmin *aktiivinen informaatio* matemaattisesti täsmennettynä?

==

Taulu 3.3. Epähomogeenisen vektorin vaikutus

Lähtömatriisit:

A	1	0	0	0	B	.85	.05	.05	.05	C	.7	.1	.1	.1
	.25	.25	.25	.25		.25	.25	.25	.25		.25 jne.			
	.25	.25	.25	.25			sama							
	.25	.25	.25	.25			sama							
D	.55	.15	.15	.15	E	.4	.2	.2	.2	F	.25	.25	.25	.25
		jne.					jne.					jne.		

Matriisipotenssien informaatiomääriä:

	M	$\mathbf{M}^2$	$\mathbf{M}^4$	$\mathbf{M}^7$	$\mathbf{M}^{10}$	$\mathbf{M}^{12}$	$\mathbf{M}^{14}$	$\mathbf{M}^{27}$
A	2.0	2.36			6.5			8.0
B	1.52	1.06					1.8	
C	0.64	0.45				0.56		
D	0.29	0.15		0.17				
E	0.08	0.058	0.032					
F	0	0	0					

Aika-askelten määrä, joka tarvitaan prosessin stabilisoitumiseksi (ominaismatriisiksi 3 desimaalin tarkkuudella):

	A	B	C	D	E	F
Aika-askelia	27	14	12	7	4	0

==

3.4. Heikosti yhtenäinen transitiomatriisi

Esimerkkinä hyvin poikkeuksellisesta transitiomatriisista, jota voi luonnehtia heikosti yhtenäiseksi, olkoon Taulun 3.4 mukainen matriisi.

==

Taulu 3.4 Heikosti yhtenäinen matriisi

		M				**Info**	
	s1	s2	s3	s4			
s1	.5	.5	0	0		1.0	
s2	.4999	.5	.0001	0		.9986	
s3	0	0	1	0		2.0	
s4	0	.0001	.5	.4999		.9986	
					$\sum$	4.9972	$\approx$ 5.0

==

Mitä matriisi Taulussa 3.4 kertoo? – Jos prosessi alkaa tilasta s1 tai s2, se kiertää niissä ja on vain hyvin pieni mahdollisuus sen siirtyä s3:een (yksi tapaus kymmenestä tuhannesta).

Jos taas prosessi alkaa s3:sta, se jää siihen. Jos prosessi alkaa s4:stä, se siirtyy pian s3:een ja jää siihen, vaikkakin on pienenpieni (.0001) mahdollisuus, että se siirtyy s2:een. Matriisin 2. potenssi Taulussa 3.5 näyttää tämän selvästi:

===

Taulu 3.5 Heikosti yhtenäisen matriisin toinen potenssi

		$\mathbf{M}^2$		
	s1	s2	s3	s4
s1	.5	.5	0	0
s2	.5	.5	0	0
s3	0	0	1	0
s4	0	0	.75	.25

===

Millaiseksi matriisin korkeammat potenssit tässä tapauksessa muodostuvat, sen näyttää Taulu 3.6 . Siinä on esitetty matriisin **M** potensseja 100, 1000, 10000 jne. aina 144901:een. Matriiseista on esitetty vain 1. rivi, sillä 2. rivi on sama kuin se ja 3. ja 4. rivi ovat aina: 0, 0, 1, 0. – Rivien 1 ja 2 informaation määrä on laskettu; rivin 3 informaatio on 2.0 ja rivin 4 samoin 2.0.

===

Taulu 3.6 Heikosti yhtenäisen matriisin korkeampia potensseja

$\mathbf{M}^{100}$	s1	.498	.498	.005	0	**Info:** .(rivi 1)	.96	(koko mx)	**5.92**
$\mathbf{M}^{1000}$	”	.476	.476	.049	0	” ”	.767	”	**5.53**
$\mathbf{M}^{10000}$	”	.303	.303	.393	0	” ”	.427	”	**4.85**
$\mathbf{M}^{20000}$	”	.184	.184	.632	0	” ”	.683	”	**5.37**
$\mathbf{M}^{100000}$	”	.003	.003	.993	0	” ”	1.94	”	**7.88**
$\mathbf{M}^{144900}$	”	.000	.000	.999	0	” ”	1.9986	”	**7.9972**
$\mathbf{M}^{144901}$	”	0	0	1	0	” ”	2.0	”	**8.0**

===

Taulussa 3.4 esitetyn matriisin evoluutio on siitä erikoinen, että vasta muutaman tuhannen aika-askelen jälkeen alkaa näyttää siltä, että ominaismatriisi saattaa lopulta löytyä. Se muotoutuukin 144901:lla aika-askeleella ja sen sisältämä informaatio on tuolloin 8.0 eli maksimaalinen. Alussa se pieneni ja kävi 10000 askeleen kohdalla niinkin alhaalla kuin 4.85:ssä. Informaatio saattaa olla siis hyvin pitkään vähenevä, mutta kasvaa sen jälkeen maksimikseen.

4. Systeemien informaatio-vuorovaikutus, vektori- interferenssi[10]

Edellä on tarkasteltu yhden systeemin sisäisiä, transitiomatriisin rakenteen ja ajassa etenevän prosessin tuottamia informaation määrän muutoksia. Ulkoiset tekijät suljettiin tällöin pois.

[10] Vektori-interferenssistä ja inversiovektoreista ks. Rainio-Malaska, 2011c.

Kvanttisysteemi on toiselle kvanttisysteemille ”ulkoinen tekijä”. Mitä säännönmukaisuuksia tämä tuo systeemin informaation muutoksiin?

Systeemien välisessä kietoutumisessa (entanglement, suomennettu epäonnistuneesti ”lomittumiseksi”) *interferenssi*[11] tuottaa yleensä matriisien muutoksia. Niistä todettakoon tässä lyhyesti pari oleellista seikkaa.

4.1. Vektorin ja sen inversiovektorin interferenssi

Vektorin A inversiovektori modulo V määritellään vektoriksi, jonka vektori-interferenssi A:n kanssa tuottaa tulokseksi vektorin V.

Inversiovektori A modulo V voidaan laskea valitsemalla vapaasti mikä tahansa samanpituinen vektori V:ksi. Kun näin on, voidaan saattamalla vektori A interferenssiin inversiovektorin Inv(A modulo V) kanssa muuttaa vektori A vektoriksi V. (Laskukaava: ks. Rainio – Malaska, 1011c). Tällöin sen systeemin, johon A kuuluu, informaatio muuttuu interferenssin tuloksena vektorin V informaation suuruiseksi.

Erikoistapaus on se, jossa V:n paikalla on vektori H tarkoittaen *homogeenista* vektoria. Tavallisesti tällöin ”modulo H” voidaan jättää pois, koska pelkän Inv(A)–vektorin on sovittu tarkoittavan tällaista vektoria; siis Inv(A)= Inv(A modulo H). Tällöin interferenssi Interf(A, Inv(A)) tuottaa tulokseksi homogeenisen vektorin, joten

jos vektori saatetaan interferenssiin inversiovektorinsa kanssa, sen informaatio häviää – muuttuu määrältään 0:ksi. Tämä käy ilmi Taulun 4.1 esimerkistä.

Vektorin ja sen inversiovektorin välistä interferenssiä Interf(A,Inv(A modulo V)) analysoimalla tulemme mm. seuraaviin tuloksiin:

1) Jos V on homogeeninen, interferenssi A:n ja inversiovektorin kesken muuttaa A:n homogeeniseksi vektoriksi ja siis *hävittää* sen informaation. Interferenssi on tässä tapauksessa maksimaalisesti *destruktiivinen*.

2) Jos edellä kohdassa 1 esitetty tapahtuu transitiomatriisin kaikkien vektoreiden suhteen, koko matriisin informaatio häviää; voidaan sanoa, että systeemi häviää.

3) Jos V on yksikkövektori (eli jokin $p_i = 1$ ja muut 0:ia), A muuttuu interferenssissä inversiovektorinsa kanssa modulo V yksikkövektoriksi ja sen *informaatio maksimaaliseksi*.

4) Jos kohdassa 3 esitetty tapahtuu kaikissa tr-matriisin rivivektoreissa, ne kaikki muuttuvat yksikkövektoreiksi, joissa $p_i = 1$ ja muut p:t 0:ia; siis elementtitilasta *i* tulee systeemin pysyvä tila (kuten kvanttimekaniikan standardimallissa tapahtuu ”mittaamisen” yhteydessä ”aaltofunktion romahtaessa”). Systeemi saa samalla *maksimaalisen informaationsa*. Voidaan myös mahdollisesti sanoa, että se *lakkaa olemasta kvanttisysteemi*.

5) Jos vektorin V informaatio on suurempi kuin A:n, interferenssi A:n ja

[11] Diskreetissä prosessimallissa ei esitetä kvanttitilasta mitään aaltokuvausta vaan interfernssit lasketaan siirtymä- eli transitiotodennäköisyyksistä. Tulokset poikkeavat jossakin määrin aaltomekaanisen mallin interferenssituloksista; toisaalta normalisoimisen vaikutuksesta tämä ero jää suhteellisen pieneksi. Kun numeeriset esimerkit tässä artikkelissa eivät yleensä rakennu empirian pohjalle, tällä erolla ei ole olennaista merkitystä. Kysymys on vain asioiden havainnollistamisesta ajatuskokeiden ja esimerkkien avulla.

Inv(A modulo V):n välillä kasvattaa A:n informaatiota. Tällöin voidaan interferenssiä kutsua *konstruktiiviseksi*. Jos näin tapahtuu kaikkien rivivektoreitten suhteen, systeemin koko informaatio kasvaa arvoon

$\text{Info}(V_1) + \text{Info}(V_2) + \ldots + \text{Info}(V_n)$, jossa n on elementtien lukumäärä.

==

Taulu 4.1 Vektorin ja sen inversiovektorin interferenssi

Olkoon tilavektori A: (.1, .2, .3, .4)

I) Lasketaan tilavektorin A inversiovektori V:

(1/.1, 1/.2, 1/.3, 1/.4) = (10, 5, 3.333, 2.5). Summa, S = 20.8.

Inv(A) normeerattuna: (10/ S, 5/S, 3.333/S, 2.5/S) = (.48, .24, .16, .12); summa = 1.

Interferenssi (A, Inv(A)):						Informaatio:
	.1	.2	.3	.4		.15
	.48	.24	.16	.12		.21
Tulot:	.048	.048	.048	.048	; summa .192	
Normeer.	.25	.25	.25	.25	; summa 1	0

Interferenssissä Interf(A, Inv(A)) vektoreiden A ja Inv(A) *informaatio on siis hävinnyt.*

II) Interferenssi voi myös *kasvattaa* A:n informaatiota:

Lasketaan Inv(A modulo V) ja olkoon nyt V = (.97, .01, .01, 01):

Interferenssi (A, Inv(A modulo V)) tuottaa tuloksen V.

					Informaatio:
A	.1	.2	.3	.4	.15
V	.97	.01	.01	.01	1.76

Interferenssin jälkeen siis A:n informaatio on kasvanut .15:sta arvoon 1.76.

==

6) Jos vektorin V informaatio on pienempi kuin A:n, interferenssi vastaavasti pienentää vektorin A informaation määrää. Interferenssi on tällöin *destruktiivinen.*

7) DPM-tarkastelussa systeemin täysin homogeenisen transitiomatriisin voidaan mahdollisesti ajatella kuvaavan ns. ZPE- (zero point energy) –tilannetta. Systeemin informaatio on tällöin 0, sillä kaikki tilavektorit ovat homogeenisia (**H**) ja siis niiden jokaisen informaatio = 0. Minkä tahansa epähomogeenisen vektorin **A** interferenssi yhdenkin **H**-vektorin kanssa tuottaa **H**:n muutoksen **A**:ksi, sillä Interf(**A,H**) = **A**. Systeemin informaatio kasvaa siis tällöin vektorin **A** informaation suuruiseksi. Kun lähtökohtana oli systeemi, jonka informaatio oli 0, tätä voidaan kutsua ”luomisen ensimmäiseksi askeleeksi”.

8) Interferenssi yksikkövektorin ja minkä tahansa muun vektorin **A** välillä tekee **A**:sta yksikkövektorin: Interf(**Y,A**) = **Y**. Koska **Y**-vektorin informaatio on maksimaalinen eli 1, tämä interferenssi nostaa **A**-vektorin informaation maksimaaliseksi eli 1:een. Erityisesti, jos nyt juuri $p_{i,i} = 1$, tila i on se, jossa systeemi A realisoituu stabiiliin tilaan. Niin pian kuin prosessi osuu tilaan *i* , se merkitsee systeemin asettumista *aineelliseen* tilaan, aineelliseen ja siis periaatteessa havaittavaan olomuotoon; näin tapahtuu esimerkiksi säteilyn absorptiossa. – (Kvanttimekaniikan tutkimuksen alkuvaiheissa katsottiin tämän ”kvanttihypyn” määrättyyn, pysyvään tilaan tapahtuvan ”mittauksen” vaikutuksesta. Mutta mitä mittauksessa varsinaisesti tapahtuu, se oli ja pysyy arvoituksena

standardi-mallissa. DPM:n interferenssiselitys tarjoutuu myös selitykseksi dekoherenssille. Se ei nimittäin edellytä mitään kvanttisysteemien ulkopuolisia tekijöitä, "mittaajia".) – Lyhyesti voidaan sanoa, että Interf(**Y,A**) = **Y**;$p_{i,i}$ *kuvaa aineen syntyä.* Systeemillä, joka nyt on stabiilissa tilassa, on muuttumaton informaation määrä 1 bitti. Nimittäin kvanttimekaanisesti mikään interferenssi ei voi muuttaa vektoria **Y**; $p_{i,i}$ eikä mikään ulkoinen tekijä voi sitä saada aikaan muuttamatta systeemin rakennetta eli hävittämättä tai rikkomatta systeemiä.

9) Inv(**H**) = **H** eli homogeenisen vektorin inversiovektori on se itse. Se merkitsee, että (tulkitussa maailmassamme) universumissa ei ole mitään eikä tapahdu mitään, jos sen systeemien tilavektorit ovat kaikki homogeenisia. Saatamme hyvinkin kutsua tätä universumin tilaa *tyhjiöksi* (vacuum). – Tyhjiössä on vain *mahdollisuuksia.* – Mutta jos siis määrittelemme tyhjiön universumin tilaksi, jossa systeemeillä on vain homogeenisia tilavektoreita, olemme tehneet *yhden väkevän olettamuksen:* Kaikki mahdollisuudet ovat *yhtä todennäköisiä.* universumin tulevaisuus on tällöin *mitä tahansa* – sen luojalla on täysin "vapaat kädet". (Tähän liittyy spekulaatio seuraavassa luvussa 4.2.)

Voidaan kysyä, tapahtuuko kahden systeemin välisessä kietoutumisessa (entanglement) kummankin matriisin kaikkien vastintilojen tilavektoreitten interferenssi vaiko vain joidenkin tai yhden ainoan vektoriparin. Tämä kysymys on relevantti myöskin silloin, kun transitiomatriisit ovat ominaismatriisen muodossa, koska yhden tilavektorin muutos saa myös ominaismatriisissa aikaan koko matriisin muutoksen ja tuottaa ajan mukana uuden ominaismatriisin.

Tuntuu luonnolliselta ajatella, että kietoutumisen ajankohtana kumpikin systeemi on tietyssä superpositiotilassa ja että näin ollen interferenssi tapahtuu näitä kahta superpositiota vastaavien tilavektoreitten välillä, ei muiden. Tästä seuraa kummankin systeemin uusi evoluutiojakso, joka päättyy uuteen ominaismatriisiin. Tämän ajanjakson pituus voi olla systeemeissä erilainen.

4.2.Likiarvot ja tarkat arvot, "kvanttivaahto" (quantum foam)[12]

Miten on meneteltävä interferenssiä laskettaessa siinä erikoistapauksessa, että toisen systeemin tilavektori on (1, 0) ja toisen (0, 1), kun lisäksi oletetaan, että tilat s1 ja s1' ja s2 ja s2' ovat vastinelementtejä? Normaali laskutapa (täsmällisillä luvuilla 1 ja 0) johtaa mahdottomuuteen:

	Tilat	
	S1	S2
S1	(1	0)
S2	(0	1)

Paritulot:

(0 0) joka ei voi olla todennäköisyysvektori.

[12] "Quantum foam can be used as a qualitative description of subatomic space-time turbulence at extremely small distances (on the order of the Planck length)." (Wikipedia)

Interferenssin johdonmukaiseen laskemiseen on vain toinen mahdollisuus: 1:n ja 0:n tilalle otetaan niiden likiarvot ~1 ja ~0. Tällöin interferenssin laskeminen käy johdonmukaiseksi:

	Tilat	
	S1	S2
S1	(~1	~0)
S2	(~0	~1)

Paritulot:

(~0 ~0), joka voidaan kirjoittaa: (d, d), jossa d on erittäin pieni ja summa = 2d

Normeerattuina: (d/2d, d/2d) eli

(~.5 ~.5) Summa =~ 1

Tämä on johdonmukaista, jos ajatellaan systeemit *kvanttisysteemeiksi* ja käsiteltävät luvut todennäköisyyksiksi. – Jos sen sijaan ajattelemme kuvauksen *klassisen fysiikan* mukaiseksi, silloin 1 edustaa *ehdotonta varmuutta* ja 0 *mahdottomuutta.* Todennäköisyysvektoreitten (1, 0) ja (0, 1) interferenssi on silloin poissuljettu käsite.

"Kvanttivaahto" (Quantum foam):

Edellä esitettyä tarkennettua ajatustapaa olisi noudatettava ilmeisesti kaikkien todennäköisyysesitysten yhteydessä, joten esimerkiksi homogeeninen vektori

(.2 -- .2 .2 .2 .2) olisi oikeastaan (~.2 ~.2 ~.2 ~.2 ~.2).

Tästä tarkemmasta kuvauksesta itsestään seuraa kvanttievoluution *tyhjiöfluktuaatio* (vacuum fluctuation) eli John Wheelerin v. 1955 nimeämä "quantum foam" ("kvanttivaahto") – sitä intensiivisempi, mitä karkeampia lukuarvoja kuvaus vaatii.

Ominaismatriisien laskemisen yhteydessä olemme todenneet, että on käytännössä tyydyttävä melko karkeisiin (esim. kolmen desimaalin) likiarvoihin, sillä täysin tarkkaan ominaismatriisiin pääseminen ei ole mahdollista. Se vaatisi äärettömän pitkää matriisikertolaskujen ketjua ja siis kuvauksessa äärettömän pitkää aika-askelta. – Tapauksissa, joissa ominaismatriisi lähestyy homogeenista, täyttä teoreettista homogeenisuutta ei itse asiassa koskaan saavuteta, joten myös systeemin informaatio jää hivenen 0:aa suuremmaksi ja entropia vähän teoreettista maksimiaan pienemmäksi.

4.3. Osittaisen interferenssin olettamuksesta

Osittaisen interferenssin olettamus on varustettava kysymysmerkillä, koska sellaista ei ole vielä esitetty (muualla kuin DPM:ssä). Sillä tarkoitetaan tässä interferenssiä kahden erimittaisen vektorin välillä tai vektoreitten osien välillä. Taulussa 4.2 on tästä esimerkki ja laskelma sen vaikutuksesta vektoreitten informaatioon. Erikoisen mielenkiintoinen on homogeenisten vektoreitten osittainen interferenssi, joten seuraavassa riittää tarkastella vain sitä.

Mikäli osittaisen interferenssin esiintyminen joskus todettaisiin, siitä olisi seurauksena, että informaatiota voisi syntyä "tyhjästä", s.o. universumin tilanteesta, jossa systeemeillä olisi vain homogeenisiä transitiotodennäköisyysvektoreita ja jossa niiden informaatio (ja energia) olisi 0.

==

Taulu 4.2. Osittainen vektori-interferenssi

Tarkastelemme kahta homogeenista vektoria **A** ja **B**, joista edellisessä olkoon 10 ja jälkimmäisessä 5 tilaelementtiä. Olkoon kaikilla **B**:n tilaelementeillä vastinelementtinsä **A**:ssa. Vastinelementit on osoitettu ’:lla.

	s1’	s2’	s3’	s4’	s5’	s6	s7	s8	s9	s10		Info
A:	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1		0
B:	.2	.2	.2	.2	.2							0
Tulot:	.02	.02	.02	.02	.02							
Interf.:**A:**	.02	.02	.02	.02	.02	.1	.1	.1	.1	.1	∑ = .6	
B:	.02	.02	.02	.02	.02						∑ = .1	
Normeeratut:												
A:	**.**033	.033	.033	.033	.033	.167	.167	.167	.167	.167	∑ = .995	.354
B:	.2	.2	.2	.2	.2						∑ = 1	0

A:n informaatio on noussut 0:sta .354:än, **B**:n jää 0:aan eikä **B** muutu.

==

Mikäli tulkitussa maailmassamme osittainen interferenssi olisi väistämätön ”tosiseikka”, voitaisiin väittää, ettei mitään erityistä ”luomisprosessia” tarvita panemaan alulle tapahtumista; konstruktiivista interferenssiä, informaation lisääntymistä eli *ergodisia* prosesseja, syntyisi ”itsestään” (mutta arvattavasti ei ”merkityksiä” eikä ”ymmärrystä”).

5. Systeemin informaation väheneminen, kasvaminen ja stabiloituminen. Systeemin häviäminen

Edellisessä luvussa on jo käsitelty systeemin tilavektorin informaation muuttumista sen ja inversiovektorin välisen interferenssin vaikutuksesta. Todettiin, että tilavektorin ja sen inversiovektorin interferenssin tuloksena saadaan aina homogeeninen vektori, jonka informaatio on aina 0. Voidaan siis sanoa, että *systeemin tilavektoreitten interferenssi inversiovektoreittensa kanssa ”hävittää” systeemin*. Tarkemmin sanoen: systeemin informaatio muuttuu 0:ksi ja se ei siis voi vaikuttaa mitään. – Mutta jos systeemi tällaisena joutuu *interferenssiin systeemin kanssa, jolla on epähomogeeninen tilavektori (yksikin), se ikään kuin ”herää jälleen”,* ts. sen informaatio kasvaa 0:aa suuremmaksi ja se voi jälleen *vaikuttaa*. Tässä mielessä systeemin häviäminen olikin näennäistä. Se muuttui ”hävitessään” periaatteessa havaitsemattomaksi. Mutta sen potentiaaliset tilat ja niiden todennäköisyydet jäivät ”olemaan” ja siten myös tilavektorin pituus. Tästä seuraa, että ”hävitetylle” systeemille jäi kuitenkin entropia-ominaisuus. (Jos esim. tilavektorin pituus n = 1000, tilavektorin entropia log(n)/log(2) = log(1000)/.3 = 3/.3 = 10.)

Lopputuloksena on, että ”olemassaoloa” on monenlaista! Tauluun 5.1 on koottu 4 erilaista systeemien olemassaolon muotoa.

==

Taulu 5.1 , Systeemin kvanttimekaaniset ”olemassaolon” muodot

(I = informaatio, E =entropia)

Olemassaolon muototyyppi	Määrittely	Tilavektori	Vaikutusmahdollisuus	Havaittavuus
SysI	I>0, E=0	(1,0,0…)	Interfer. ja makrofys.	Aineellinen
SysII	I>0, E>0	(p1,p2, …)	Interferenssi	Kvanttimek.
SysIII	I=0, E>0	(homog.)	Ei vaikutuksia	Ei havaittava
SysIV*	I=0, E=0	(1) ? ei kvanttim.	Tuntematon	Ei havaittava

*SysIV edellyttäisi tilavektoria, jossa olisi vain yksi elementti. Sitä ei voida kuvata kvanttimekaanisesti, mutta ei aineellisestikaan, koska sen informaatio = 0. Se ei siis voi esiintyä *tulkitussa* maailmassamme, mutta johdonmukaisuuden vuoksi se on mainittava.

==

Informaation muutoksia on syytä selvittää vielä hiukan yksityiskohtaisemmin – tosin tyytymällä vain muutamaan esimerkkiin.

On siis transitiomatriiseja, joiden ominaismatriisi on *homogeeninen.* Sellaisen ominaismatriisin informaatio = 0. Jos siis matriisipotenssit lähestyvät homogeenisuutta viimein saavuttaen sen (likimääräisesti tosin, määrätyllä desimaalien tarkkuudella), voidaan sanoa tämän systeemin *rakenteen olevan sellainen, että sen informaatio häviää ajan myötä* – tarkemmin sanoen niin monella aika-askeleella kuin ominaismatriisin tuottavan matriisipotenssin eksponentti osoittaa. Ellei ominaismatriisi osoittaudu täysin homogeeniseksi, mutta on kuitenkin lähempänä sitä kuin lähtömatriisi, jolloin ominaismatriisin informaatio todetaan pienemmäksi kuin lähtömatriisin, voidaan sanoa systeemin rakenteen olevan sellainen, että *ajalla on siihen* (informaatiolla mitattava) *destruktiivinen vaikutus.* Systeemissä tapahtuu *destruktiivinen evoluutioprosessi.*

Lävistäjänsä suhteen symmetrinen transitiomatriisi (ei kuitenkaan identiteetti-matriisi) saattaa olla edellä kuvatun kaltainen. Taulussa 5.2 on annettu kaksi numeerista esimerkkiä tästä. Kummassakin niistä ominaismatriisi muodostuu homogeeniseksi ja sen informaatio 0:ksi. Systeemi *häviää* (kohdassa A 25:n ja kohdassa B 12:n aika-askelen jälkeen). Häviäminen merkitsee sitä, että systeemillä *ei ole mitään vaikutusta tapahtumiseen.* Se ei vaikuta interferenssissä muihin systeemeihin millään tavalla eikä se itse ole periaatteessakaan (välillisestikään) havaittavissa.

===

Taulu 5.2. Systeemin destruktiivinen evoluutio ajan funktiona

Esim. A) Olkoon 4x4 transitiomatriisi seuraavanlainen:

	M s1	s2	s3	s4	**Info**		$\mathbf{M^{25}}$ s1	s2	s3	s4	**Info**
s1	.8	.05	.05	.1	.98	s1	.25	.25	.25	.25	0
s2	.05	.4	.25	.3	.23	s2		-”-			0
s3	.05	.25	.6	.1	.51	jne.					
s4	.1	.3	.1	.5	.31						
				∑	2.03						

(Taulu jatkuu)

(Jatkoa)

Esim. B) Olkoon 4x4 transitiomatriisi seuraavanlainen:

	M				**Info**		**M^{12}**				**Info**
	s1	s2	s3	s4			s1	s2	s3	s4	
s1	0	.5	.2	.3	.51	s1	.25	.25	.25	.25	0
s2	.5	0	.1	.4	.64	s2		-”-			
s3	.2	.1	.4	.3	.15	jne.					
s4	.3	.4	.3	0	.43						
				∑	1.74						

==

Taulun 5.2 esimerkeissä lähtömatriisi on symmetrinen lävistäjän suhteen. Onko tämä välttämätöntä, jotta ominaismatriisi olisi homogeeninen? Ei. ”Empiirinen matematiikka” osoittaa seuraavassa esimerkissä (Taulu 5.3) sen riittävän, että transitiomatriisin *sarakesummat* ovat kaikki = 1; ominaismatriisista tulee silloin homogeeninen (ja siis Info=0).

==

Taulu 5.3. Systeemin häviäminen lähtömatriisin rakenteen seurauksena

Olkoon 4x4 transitiomatriisi seuraavanlainen:

	M				**Info**		**M^{21}**				**Info**
	s1	s2	s3	s4			s1	s2	s3	s4	
s1	.5	0	.2	.3	.51	s1	.25	.25	.25	.25	0
s2	.1	.6	0	.3	.70	s2		-”-			
s3	.2	0	.7	.1	.84	jne.					
s4	.2	.4	.1	.3	.15						
∑:	1	1	1	1	∑ 2.22						

==

Jos 4x4 –lähtömatriisiin otetaan kaksi vektoria ja niiden inversiovektorit, laskelmat (joita tässä ei esitetä) osoittavat, että ominaismatriisin Info on huomattavasti pienempi kuin lähtömatriisin, mutta ei suinkaan 0. Inversiovektorien mukanaolo transitiomatriisissa siis homogenisoi jossakin määrin transitiomatriisia, mutta ei kokonaan. Vaikutus on siis destruktiivinen, mutta ei tässä yhteydessä täysin sitä.

Jos esimerkeistä on jäänyt sellainen käsitys, että ominaismatriisin informaatio on aina pienempi kuin lähtömatriisin, on syytä palauttaa mieliin Taulu 3.3 sivulla 13 ja siinä esimerkit A ja B, jotka osoittivat, että lähtömatriisissa yhden vektorin ollessa vahvasti epähomogeeninen, saadaankin päinvastainen tulos: ominaismatriisin informaatio on suurempi kuin lähtömatriisin eli ajan funktiona informaation määrä on *kasvanut*.

Systeemin transitiomatriisin *rakenne* (Bohmin ”aktiivisen in-formaation”[13] ominaisuus) vaikuttaa siis toisinaan ajan mukana informaatiota vähentävästi (ja siis lisäten entropiaa, entrooppisesti) ja toisinaan sitä lisäävästi (ja siis vähentäen entropiaa, ergodisesti).

[13] Bohmin ”aktiivisesta informaatiosta” lähemmin luvussa 7.

Voimme määritellä kaksi interferenssin lajia siten, että
konstruktiivinen interferenssi lisää informaatiota ja *destruktiivinen vähentää*.

Tämä merkitsee sitä, että virtuaalisessa todellisuudessa esiintyy informaation muutoksia suuntaan ja toiseen ilman, että me voimme niitä havaita.

Kun kvanttisysteemi on evoluutiossaan saavuttanut ajankohdan, jossa ominaismatriisi ohjaa transitioita, sen informaatio säilyy *vakiona*. Tähän kuluva aika on ajateltava ilmeisesti todellisuudessa aina hyvin pieneksi. Esimerkiksi: Jos kuvaus rakennettaisiin Planckin mittakaavassa siten, että lähtömatriisissa aika-askel olisi suuruusluokkaa 10^{-40} sek. ja ominaismatriisi syntyisi matriisin miljoonantena potenssina 10^{6} , ominaismatriisi alkaisi ohjata prosessia 10^{-34} sek:n kuluttua. Käytännössä sitä ei voi pitää kovin pitkänä ajanjaksona.(Tästä syystäkö kokeellisessa kvanttifysiikassa systeemin sisäisten informaatiomuutosten analyysi on jäänyt sivuun?)

Systeemin informaation muutoksia, erityisesti häviämistä, tarkastellaan vielä uudesta näkökulmasta seuraavassa luvussa, jolloin käsitellään myös vastaavia energian muutoksia.

6. Annihilaatio ja informaatio-energia -ekvivalenssi

Kun fysiikassa hyväksyttiin ns. Big-Bang- teoria, omaksuttiin samalla se näkemys, että sen yhteydessä syntyi yhtä paljon kuin ainetta myös ”vasta-ainetta” eli *antimateriaa*, jonka hiukkasilla oli materiahiukkasiin nähden negatiiviset ominaisuudet.[14] Nämä aineelliset ominaisuudet alkoivat ilmaantua alkuräjähdyksestä 10^{-35} sek kuluttua. Seuraavan 10^{-24} sek jakson aikana tapahtui annihilaatio miltei kaikissa hiukkas-antihiukkas –pareissa, niin että 10^{-11} sek alkuräjähdyksen jälkeen oli antimateria hävinnyt (Enqvist, Antimateria) samoin kuin enin osa materiaa ja jäljellä vain pieni osa materiaa. ”Kaikki antiaine tuhoutui aineen kanssa”, kirjoittaa Enqvist, ”mutta koska ainetta oli hiukan enemmän, sitä jäi ikään kuin ylitse. Tästä asymmetriasta meidän on kiittäminen koko olemassaoloamme.” Kauniisti sanottu tiedemieheltä, joskin kiitoksen osoite jää hiukan epäselväksi.

Miksi jäi tällainen ”ylimäärä” ainetta, sitä ei ”virallisesti” tiedetä. Se selitetään vain ylimalkaisesti ”asymmetrialla”.

Mitä hiukkasparin annihilaatiossa tapahtuu? Tähän kysymykseen vastattaessa voidaan päästä selville samalla informaation ja energian välisestä yhteydestä, ts. päästä tietämään, paljonko energiaa hiukkassysteemi menettää, kun sen informaatio vähenee 1 bitillä (tämä on se määrä informaatiota, jonka hiukkassysteemi ”hävitessään” menettää, oikeastaan siirtyessään 0 informaation tilaan, jota kuvaa homogeeninen tilavektori).

Annihilaatio DPM:n mukaisesti voidaan esittää seuraavasti systeemiparin interferenssinä (Rainio—Malaska, 2007). Tällöin on ajateltava todennäköisyydet 1 ja 0 likiarvoiksi; muuten ei interferenssiä voida laskea.

[14] Sittemmin on löydetty laboratoriossa protonin antihiukkanen eli antiprotoni ja vähitellen muitakin antihiukkasia – onpa rakennettu antiatomejakin.

+S = ainesysteemi, --S = antiainesysteemi
A = ainetila, non-A = antiainetila

	Tilavektorit		
	A	non-A	Inform.
+S	(~1	~0)	1.0 bitti
--S:	(~0	~1)	1.0 bitti
Interfer.:	(.5	.5)	0

Kuten nähdään, tuloksena on homogeeninen vektori, jonka informaatio = 0. Siis kumpikin systeemi on menettänyt 1 bitin. (Tässä DPM:n mukaisesa tarkastelussa siis systeemit ovat edelleen "olemassa", mutta kadonneet "kvanttivaahtoon".)

Mutta paljonko on kadonnut energiaa kahden bitin informaatiomenetyksen mukana?

Julkisuudessa esitetään usein hyvin valaiseva laskentatulos: *1 gr antimateriaa ja 1 gr materiaa tuottaa annihilaatiossa 180 terajoulea energiaa. (Hiroshiman atomipommin energia oli: 84 terajoulea.)*

Annihilaatio merkitsee siis 2 bitin informaation vähennystä interferenssitapahtuman johdosta. Jos tunnetaan informaation energia-ekvivalenssi, voidaan laskea systeemien annihilaation vapauttaman energian määrä.

Tiedetään., että *protonin massa* $\approx 1.5\text{x}10^{-10}$ J , mikä on ekvivalentti 940 MeV:n kanssa. Se on myös ~ 1,66 x 10^{-27} kg = 1,66 x 10^{-24} gr ja se on ekvivalentti *atomimassayksikön* u kanssa, ~ 1.66 x 10^{-27} kg ~ 938 MeV.

Voimme laskea, paljonko 1 gr:n materian ja 1 gr:n annihilaatiossa vapautuu energiaa, ja siten tarkistaa julkisuudessa esitetyn tuloksen: 180 TJ. (Terajoule = 10^{12} J.)

Koska protonin massa ≈ 1.66 x 10^{-24} gr, yhdessä grammassa on 1/(1.66 x 10^{-24}) protonia eli .6 x 10^{24} protonia.

Voimme laskea annihilaation tuloksen: protonien määrä 1 gr:ssa kertaa protonin massa jouleina:

.6 x 10^{24} x $1.5\text{x}10^{-10}$ J = .9 x 10^{14} J = .9 x 10^{2} TJ = 90 TJ. Antimaterian osuus on yhtä suuri, joten tuloksena saamme 2 x 90 TJ = **180 TJ**, kuten edellä mainittiin.

Voimme suorittaa laskun myös megaelektronivoltteina:

MeV on ekvivalentti 1.6 x 10^{-13} J kanssa. Protonin massa = 940 MeV. Protoneja on 1 gr:ssa .6 x 10^{24}. Tulos elektronivolteissa on siis .6 x 10^{24} x 940 MeV = 564 x 10^{24} MeV = **.6 x 10^{18} TeV.**

Tulos voidaan muuntaa jouleiksi: .564 x 10^{24} x 1.6 x 10^{-13} J = 902,4 x 10^{11} J = **90 TJ.**

Saadaan sama tulos kuin edellä.

Edellisten laskujen perusteella voimme siis sanoa, että annihilaatiossa kahden systeemin kesken, joiden systeemien tilavektoreilla oli yhteensä 2 bittiä informaatiota, hävisi

yhtä bittiä kohden energiaa 1.5 x 10^{-10} J

Olemme saaneet vastauksen kysymykseen, miten suurta energianmuutosta tämä informaationmuutos merkitsee. DPM-kuvauksessa on siis löytynyt yksi mahdollisuus ***informaatio-energia –ekvivalenssin*** arvon laskemiseksi:

1 bitti informaatiota on energiana **~** protonin massa $\approx 1.5\text{x}10^{-10}$ J
= 1 atomimassayksikkö u ~ 938 MeV ja edelleen ~ 1,66 x 10^{-27} kg = 1,66 x 10^{-24} g .

Luvussa 2 esitetyn Shannonin kaavan mukaan voimme laskea minkä tahansa (käytännössä kohtuullisen mittaisen) tilavektorin informaation (bitteinä) ja saamaamme informaatio-energia –ekvivalenssia käyttäen edelleen laskea esimerkiksi, paljonko energiaa irrottaa se interferenssi, joka muuttaa tilavektorin homogeeniseksi. Tämän tekee inversiovektori, joka sekin menettää informaationsa ja josta siis samalla irtaantuu sen energia sen muuttuessa homogeeniseksi.

Taulussa 6.1 on esitetty esimerkki (joka on sama kuin Taulussa 4.1 s. 16 ; ainoastaan energialaskelma on lisätty). Siitä näemme, että tilavektorin ja sen inversiovektorin interferenssi hävittää kummankin vektorin Shannonin kaavalla laskettujen informaatioiden summan.

Huomataan myös, että *tilavektorin ja sen inversiovektorin interferenssi on* ***annihilaation yleistys.***

==

Taulu 6.1. Annihilaation tuottama informaatio- ja energiahäviö

Olkoon tilavektori A: (.1, .2, .3, .4)

I) Lasketaan tilavektorin A inversiovektori V:

(1/.1, 1/.2, 1/.3, 1/.4) = (10, 5, 3.333, 2.5). Summa, S = 20.8.

Inv(A) normeerattuna: (10/ S, 5/S, 3.333/S, 2.5/S) = (.48, .24, .16, .12); summa = 1.

Interferenssi (A, Inv(A)):						Informaatio:	Energiahäviö:
	.1	.2	.3	.4		.15	$.15 \times 1.5 \times 10^{-10}$ J
	.48	.24	.16	.12		.21	$.21 \times 1.5 \times 10^{-10}$ J
Tulot:	.048	.048	.048	.048	; summa .192		
Normeer.	.25	.25	.25	.25	; summa 1	0	

Interferenssissä Interf(A, Inv(A)) on sekä vektorin A että vektorin Inv(A) informaatio siis *hävinnyt* (tullut luovutetuksi pois systeemeistä). Tämä informaation häviö on energian häviönä systeemistä yhteensä

$.15 \times 1.5 \times 10^{-10}$ J + $.21 \times 1.5 \times 10^{-10}$ J = $.54 \times 10^{-10}$ J.

On siis 2 superpositiota, joissa informaatiomenetystä on (.15 + .21) bittiä eli yht. .36 bittiä. Edellisen laskun mukaan se on energiana $.54 \times 10^{-10}$ J eli ~ 340 MeV.

Yleisesti on esitetty[15], että protonin ja antiprotonin annihilaatiossa häviää 1876 MeV. Toisaalta olettamuksemme on, että informaation muutoksena se tarkoittaa 2 bitin häviötä. 1 bitin häviö on siis 938 MeV.

Laskun tarkistuksena voimme todeta, että esimerkissämme 340 MeV:n häviö on bitteinä 340/938 = .36 bittiä (eli juuri se informaatiomäärä, jonka rivivektorit interferenssissä yhteensä menettivät).

=================================

Voimme edelleen kehittää ajatusta annihilaation yleistämisestä. Edellä se on esitetty Markov-vektorin ja sen inversiovektorin erityistapauksena. Se tuottaa aina homogeenisen

[15] Lukuisia yhteenkäyviä tietoja internetissä.

vektorin ja siis hävittää kahden systeemin informaation (ja sen kanssa ekvivalentin energiamäärän, kuten Taulussa 6.1 näkyy).

Mutta kvanttievoluutio-prosessia analysoidessamme olemme havainneet, että on kahdensuuntaista evoluutiota: kun systeemin transitiomatriisi aika-askeleen pidetessä lähenee ominaismatriisiaan, tilavektoreitten informaatio joko *vähenee* (jopa 0:aan bittiin asti) tai *kasvaa* (jopa joka tilavektorissa 1 bittiin asti).

==

Taulu 6.2. Ergodinen ja entrooppinen kvanttievoluutio.prosessi. 2 esimerkkiä

A) Entrooppinen kvanttievoluutio

Transitiomatriisi **M**

	s1	s2	s3	s4	Info
s1	.91	.03	.03	.03	1.42
s2	.03	.91	.03	.03	1.42
s3	.03	.03	.91	.03	1.42
s4	.03	.03	.03	.91	1.42
				Summa	5.68

Matriisipotenssi $\mathbf{M}^{10}$

					Info
s1	.46	.18	.18	.18	.15
s2	.18	.46	.18	.18	.15
jne.					.15
					.15
				Summa	.60

Matriisipotenssi $\mathbf{M}^{40}$

s1	.255	.248	.248	.248	.0007
s2	.248	.255	.248	.248	-“-
jne.					-“-
					-”-
				Summa	.0028 bit

Matriisipotenssi $\mathbf{M}^{58}$, ominaism.

s1	.25	.25	.25	.25	0
s2	.18	.46	.18	.18	0
jne.					0
					0
				Summa	0

B) Ergodinen kvanttievoluutio

Transitiomatriisi **M’**

	s1’	s2’	s3’	s4’	Info
s1’	.91	.03	.03	.03	1.42
s2’	.18	.46	.18	.18	.15
s3’	.18	.18	.46	.18	.15
s4’	.18	.18	.18	.46	.15
				Summa	1.87

Matriisipotenssi $\mathbf{M'}^{27}$, ominaismatriisi

s1’	.667	.111	.111	.111	.554
s2’	.667	.111	.111	.111	.554
jne.					.554
					.554
				Summa	2.216

****

Esim. C) Ergodinen vahvasti energiaa tuottava kvanttievoluutio

			M		Info
s1	1	0	0	0	2.0 bittiä
s2	.25	.25	.25	.25	0
s3			-“-		0
s4			-“-		0
				Summa	2.0 bittiä
		Ominaismatriisi:			
s1	1	0	0	0	2 bittiä
s2		-”-			2
s3		-”-			2
s3		-”			2
				Summa	**8.0 bittiä**

A:ssa on systeemi *menettänyt* energiaa **5.68 bittiä** vastaavan määrän jouleina:
5.69 x 1.5 x 10^{-10} J = **8.54 x 10^{-10} J**.
B:ssä systeemin informaatio on lisääntynyt 2.216 – 1.87 bittiä = **0.346 bittiä**. Systeemin energia on siis *lisääntynyt* 0.346 x 1.5 x 10^{-10} J = **.519 x 10^{-10} J**.

==

Informaatiota lisäävää prosessia nimitetään ergodiseksi ja sitä vähentävää entrooppiseksi. Kumpaan suuntaan prosessi etenee, on transitiomatriisin kokonaisrakenteesta riippuva seikka – *ei ulkopuolisista tekijöistä.* Esimerkit kummankin suuntaisista prosesseista on Taulussa 6.2 (s. 25).

Esimerkki-laskelmista huomataan, että

Kvanttievoluution ergodisuus/entrooppisuus on riippuvainen transitiomatriisin rakenteesta kokonaisuudessaan.

Transitiomatriisin *rakenne (pelkkänä informaationa)* kykenee siis (ilman mitään ulkopuolisia tekijöitä) "synnyttämään" tai luovuttamaan pois energiaa. Näin ollen transitiomatriisiin sopii Bohmin kuvaus "aktiivisesta informaatiosta". Tämä näkökulma antaa myös perustetta puheelle informaatiosta olemassaolon fundamentaalisena tekijänä (esim. Wheelerin kuuluisa lausahdus: "It from Bit").

Universumin energian "alkusyntyä" on siis etsittävä systeemeistä, joiden transitiomatriiseilla on *ergodinen rakenne.*

Entrooppisella interferenssillä on samansuuntainen vaikutus kuin annihilaatiolla, jota voidaankin pitää sen ääritapauksena silloin, kun se hävittää systeemiparin *kaiken* informaation. Vähäisempää entrooppista vaikutusta voitaisiin nimittää "*heikoksi annihilaatioksi*".

Matemaattisesti voidaan erottaa nämä toisistaan DPM-kuvauksessa määrittelemällä:

Annihilaatio toteutuu kahden systeemin välillä silloin, kun tilavektori T interferoi inversiovektorinsa Inv(T modulo H) kanssa ja H on homogeeninen vektori. *Heikko annihilaatio* esiintyy sen sijaan silloin, kun inversiovektori on Inv(T modulo V) ja V≠homogeeninen vektori.

Huomautus: Hiukkasfysiikassa puhutaan annihilaatiosta kahden hiukkasen suhteen täysin *symmetrisenä* tapahtumana ja arvoitukseksi jää tällöin, miten ainetta kertyi universumiin ylivoimaisesti enemmän kuin antiainetta, syntyi asymmetriaa. DPM-kuvauksen mukaisesti annihilaatio (tilavektorin ja sen inversiovektorin interferenssinä, jonka tuloksena on homogeeninen vektori) noudattaa symmetriaa vain eräissä *poikkeustapauksissa*, nimittäin silloin kun n = 2 (n = elementtitilojen määrä tilavektorissa eli vektorin pituus), esim. V = (.6, .4), Inv(V) = (.4, .6) tai kahdennetut, kuten V=(.3, .3, .2, .2) ja Inv(V) = (.2, .2, .3, .3) jne. , mutta ei esim. V = (.1, .2, .3 , 4).

7. Päätelmiä ja mietteitä

Informaatiota on tarkasteltu paljon *semanttisena* informaationa, yksilöitten välisen kommunikaation peruskäsitteenä. Tämän tuoma valtavan laaja tutkimuksen näkymä jää kokonaan tämän analyysin ulkopuolelle. On rajoituttu vain (Boltzmanin entropiaan pohjautuvaan) Shannon-informaatioon. Sen pääasiallinen sovellusalue on informaatio-teknologinen. Tutkimuskohteena on yleensä vähemmälle jäänyt filosofisesti varsin tärkeä teema: systeemien *kvanttitilojen informaation kuvaus* ja siihen liittyvät loogiset päätelmät. Sitä on yritetty tässä artikkelissa, mutta vielä on jäljellä löydösten merkityksen tarkastelu. Se voi aiheen suunnattoman laajuuden vuoksi olla vain fragmentaarista. On koetettava vastata vielä avoimiin kysymyksiin ja on otettava esiin eräitä informaatiofilosofian näköaloja.

Ainepartikkelin informaation paradoksi:

Systeemin siirtyessä superpositiotilasta määrättyyn tilaan, aineellisen partikkelin syntyessä (”mittaamisen” tuottaman ”aaltofunktion romahduksen” yhteydessä), nousee esiin eräs paradoksi: partikkelin tilavektori (diskreetissä kuvauksessamme) on joko kahden elementin pituinen (1,0), jolloin informaatio = 1 bitti, tai *pitempi yksikkövektori* – kuten (1.0,0,0), jolloin informaatio = 2 bittiä jne.

Yleensä katsotaan, että partikkelin informaatio on 1 bitti.

Miten tilavektorin laskutavan tuottama paradoksi on vältettävissä?

Voimme ensiksikin ajatella, että systeemi edelleen on sama, jolla *oli n mahdollista tilaa tarjolla,* vaikka niihin siirtymisen todennäköisyydet olivat 0:ia, ja että nuo mahdollisuudet *edelleenkin ovat olemassa*. Siis luonnossa se, että systeemin tila on nyt *varmasti* i, ei poista sitä seikkaa, että tilat j, k, …, n *ovat olemassa*, vaikka niihin siirtymiset ovat mahdottomia. Näin ajatellen on oikein, että partikkelia edustavan tilavektorin pituus ratkaisee informaation määrän, joka on log(n)/log(2) .

On kuitenkin toinenkin ajattelun mahdollisuus: Voimme katsoa, että partikkelisysteemi *ei enää ole kvanttisysteemi*, koska se kuuluu aineellisiin esiintymiin ja siten ”klassisen” eli makrofysiikan lakien piiriin. Mutta voidaanko tällöin puhua *pelkän* yhden partikkelin yhteydessä ollenkaan Shannon-informaatiosta? – Kyllä. Voimme ”unohtaa”, mistä vaihtoehtojen joukosta partikkelitila valikoitui ja kuvata ”klassisella tasolla” – tai paremminkin ”eksistenssitasolla” – partikkelia vektorilla: (on tilassa i, ei ole tilassa i) eli lyhyesti (1,0) , jolloin sen informaatio = 1.

On siis valittava kahdesta partikkelin käsitteestä: partikkelisysteemi voidaan ymmärtää kuvaustavasta riippuen joko *kvanttimekaaniseksi*, jolloin informaation määrän ratkaisee tilavektorin pituus, tai *makrofysikaaliseksi*, jolloin sen informaatio = 1.

On tehty yrityksiä laskea suurten kokonaisuuksien, kuten tähtien, tähtisumujen tai koko universumin, informaation määrää (esim. Gough, 2011)[16], mutta ei ole tehty selväksi, kummasta kuvauksesta on kysymys. Tällaista laskelmaa tehtäessä on myös ratkaistava, otetaanko siihen mukaan kvanttisysteemien tilavektorien sisältämä informaatio (jota esim. tämä artikkeli on jokseenkin yksinomaan käsitellyt). Se nostaisi universumin informaation suunnattomasti korkeampaan suuruusluokkaan.

”Informaatiokvantti” ja ”transitiokvantti”

Edellä esitetty ”ainepartikkelin informaation paradoksi” voi johtaa ajattelun radikaalimpaan suuntaan: Yksikkö-tilavektorin informaation laskeminen hyvin pitkästä vektorista Shannonin informaation laskukaavaa käyttäen johtaa siihen, että jo yhden systeemin ”aineellistuminen” saattaisi merkitä suunnattoman suurta bittilukua. (Yksikkövektorin informaatiohan on log(n)(log(2), jossa n = vektorin elementtien luku.

[16] Goughin mukaan esim. tähtiä on 10^{22} ja niiden informaatio on yhteensä 10^{79} bittiä, mutta kylmän mustan aineen (cold dark matter) $2x10^{88}$ ja supermassiivisen mustan aukon $3x10^{104}$ jne.

Jos esim. n = 10^{300} , sen informaatio olisi noin 300/.3 eli 1000 bittiä; jos n on ääretön, bittimääräinen informaatio olisi ääretön.)

Shannonin laskukaavaa emme voi muuttaa, mutta voimme ajatella yksikkövektoria uudella tavalla:

Koska superposition tulee käsittää vähintään kaksi vaihtoehtoa, tilavektoria (1, 0) tai (0, 1) ei voida muuntaa lyhemmäksi. Se jääköön merkitsemään 1 bittiä informaatiota. Käsittelemme siis yksikkövektoria ikään kuin siinä olisi vain kaksi tilaa (pysyvä tila S ja "jokin muu tila" non-S). Tilavektori on silloin

	S	non-S
S	(1	0)
non-S	(1	0)

ja tilavektorin informaatio tässä transitiossa on aina 1 bitti (koko matriisin 2 bittiä).

Voimme johdonmukaistaa kvanttimekaanista tarkastelua siten, että kysymme,

eikö myös informaatiota pitäisi ajatella kvantittuneena?!

Tosin mittaamme informaatiota jatkuvalla suureella, mutta eikö todellisuuskuvamme vaadi, että sitä – nimenomaan "aktiivisena informaationa", vaikuttavana, muotoavana tekijänä – tulisi tarkastella diskreettinä, niin kuin muitakin tapahtumiseen, tulkittuun maailmaamme, osallistuvia vaikuttajia.

Ajatuskulku on seuraava: Koska on olemassa ekvivalenssi energian ja informaation muutosten välillä (s. 23) ja koska energian muutos voi tapahtua vain kvantteina, mutta ei pienempinä määrinä, seuraa tästä, ettei myöskään informaation muutos voi esiintyä pienempänä kuin energiakvantin kanssa ekvivalenttina määränä informaatiota.

Määrittelemme *informaatiokvantin* niin, että sen energiaekvivalenssi säilyy. Silloin on voimassa ekvivalenssi:

Informaatiokvantti : 1 bit ~ energiakvantti : bittiä vastaava energia (E_B)

Merkitsemme seuraavassa informaatiokvanttia: I_Q . Energiakvantti = E_B. Yhden bitin kanssa ekvivalentti energia = 938 MeV. Verrantoyhtälö muuttuu muotoon:

$I_Q : 1 = E_B : (938 \times 10^6 \text{ eV})$.

Jos oletamme, että $E_B = 1$ eV, ratkaisuksi tulee:

$I_Q = 1/(.938 \times 10^9)$

eli $I_Q \approx 10^{-9}$ bittiä eli miljardisosa bittiä.

Huomautus: Olettamus, että energiakvantti olisi 1 eV, on edellä esitetty vain yhtenä mahdollisuutena. Itse asiassa ei ole helppoa ratkaista, mikä energiakvantin tulisi "todellisuudessa" olla. Esimerkiksi voitaisiin nähdä "pienimpänä mahdollisena energiamuutoksena" fotonin energia kaavasta $E = hc/\lambda$, jossa h = Planckin vakio 6.626×10^{-34} Js ~ 4.136×10^{-15} eVs; c = valon nopeus = 3×10^8 ms; lambda = 364,6 nm eli lyhin aaltopituus Balmerin sarjassa. E.m. kaava antaa silloin E:lle arvon

$(4.136 \times 10^{-15} \times 3 \times 10^8) / (364{,}6 \times 10^{-9}) =$

$(12.4 \times 10^{-7}) / (3.6 \times 10^{-7}) = 3.44$ eV .

Tämän laskutavan mukaan siis 1 energiakvantti olisi **3.44 eV**. Edelleen

$I_Q = 3.44 / (.938 \times 10^{-9})$ bittiä $\approx 3 \times 10^{-9}$ bittiä. (Suuruusluokka on sama kuin edellä: 10^{-9}.)

Mikä käyttö informaatiokvantilla on tarkastelussamme?

Ensiksikin: On luonnollista tehdä nyt olettamus, että

sellaista transitiota ei voi tapahtua, jonka informaatio on pienempi kuin I_Q.
Siten lausekkeen log(1)/log(2) + $p_{i,j}$ x (log($p_{i,j}$)/log(2)) tulee olla > 10^{-9}.
Karkean arvion mukaan informaatiokvantti I_Q on siis 10^{-9} bittiä.
I_Q:ta vastaava pienin vaikuttava p:n muutos eli **transitiokvantti** olisi silloin

$\mathrm{Trans}_Q \approx 3 \times 10^{-9}$.

Tämä on siis se transitiokvantin suuruinen p:n arvo, joka transitiotodennäköisyyden $p_{i,j}$ tulee ylittää, jotta transitio tapahtuisi.

Huomautus: Ellei yksikään $p_{i,j}$ ylitä transitiokvanttia, tila j on poistettava tarkasteltavien (ns. relevanttien) tilojen joukosta. (Graafiesityksessä se näkyy siten, että solmuun j ei kohdistu yhtäkään graafin nuolta.)

Jotta *homogeenisen vektorin* todennäköisyyksien summa olisi = 1, on $p_{i,j}$ –todennäköisyyden oltava > I_Q. Kun homogeenisessä vektorissa jokainen $p_{i,j}$ = 1/n , tämä merkitsee sitä, että maksimaalinen n ≈ 3 x 10^9 tilaelementtiä[17].

Informaatiokvantista johdetulla transitiokvantilla ei näytä olevan vaikutusta systeemin *evoluutioprosessiin* silloin, kun lähtömatriisissa ei lainkaan esiinny stabiloivia yksikkövektoreita. Siinä tapauksessa nimittäin suurimmat p-arvot pienenevät ja pienimmät suurenevat eikä yksikään niistä lähesty transitiokvanttia.

Vain jos jokin transitiotodennäköisyys $p_{i,i}$ (eli lävistäjällä sijaitseva elementti) = 1, silloin kuvaannollisesti sanoen "aine syntyy" prosessin valikoituessa tilaan *i* – ja tuolloin pelkästään *aika pakottaa aineen syntymään*.

Huomautus: Jos transitiomatriisissa jossakin *sarake*-vektorissa kaikki $p_{--,j}$:t ovat < Trans_Q , tila **j** eliminoituu kuvauksesta, koska se ei transitiokvantti-olettamuksen mukaan voi valikoitua systeemin tilaksi (siihen ei esimerkiksi systeemin tiloja esittävässä graafissa osu ainoatakaan nuolta).

Negentropiasta:

Schrödingerin jo aikoinaan esittämän *negentropia*-käsitteen käyttö ei ole sisällöltään aivan vakiintunutta. Näyttää siltä, että sillä tarkoitetaan entropiaa vähentävää tekijää, "entropialle vastarintaa tekevää vaikuttajaa". Sen mittaamisessa on siis kysymys kvanttisysteemin tuottaman, ulospäin, toisiin systeemeihin suuntautuvan entropian vastaisen vaikuttamisen mittaamisesta. Siten, ainakin kvanttisysteemien informaation tarkastelussa, *negentropia tulisi rinnastaa informaatioon eikä entropian vastakohtaan*, mikäli vallitsevasta "negentropia" -mielikuvasta pidetään kiinni. Tuo vaikuttaminen kvanttimaailmassa voi olla vain interferenssin kautta toisen systeemin tilavektorin muuttamista – tässä tapauksesssa informaation määrää lisäävästi (eli entropiaa vähentävästi, "negentrooppisesti"). Mittana olisi informaation lisäys muuttuneessa vektorissa. Näin määritellyn negentropian mitta ei olisi systeemin vakio vaan riippuisi, ei vain vaikuttavan systeemin rakenteesta vaan myös vaikutuskohteesta ja –tilanteesta. On

[17] Tämä tiedoksi kosmologeille, jotka mahdollisesti kaipaavat lisää "kosmologisia vakioita".

kuitenkin todettava, että maksiminsa negentropiavaikutus saavuttaisi interferenssissä, jossa mukana olisi yksikkövektori ja kohteena homogeeninen tilavektori. Tällöin "tyhjästä" syntyisi negentropian tietä vähintään 1 bitti informaatiota ja kohteen entropia katoaisi 0:aan.

Kysymys negentropiasta on siten laaja tutkimus- ja filosofointikohde. Filosofiassa se on keskeisen tärkeä kysymys, koska se osittain kumoaa, ainakin asettaa vahvasti kyseenalaiseksi mm. Arthur Eddingtonin 1930-luvulla itsestään selvyytenä pitämän "armottoman" opin universumin "lämpökuolemasta".

Negentropia näyttäytyy siis systeemien välisinä *ergodisina* prosesseina. Diskreetti kvanttimekaniikka helpottaa sen täsmällistä ymmärtämistä.

Informaatiofilosofiasta:[18]

David Bohm on eräs edelläkävijä, jonka näkemyksiin ja ideoihin uuden paradigman etsijät usein viittaavat[19]. Hänen visionsa on monessa suhteessa yhteen käyvä diskreetin prosessimallin kanssa:

Esimerkiksi Bohmin ideoima tapahtumisen perusjako kahteen "olomuotoon", piilojärjestykseen (implicate order) ja ilmijärjestykseen[20] (explicate order), jolla hän välttää aalto-partikkeli-paradoksin, tulee selkeästi esille DPM:ssä ja saa matemaattisen tulkintansa. Tässä tulkinnassa systeemin katsotaan siirtyvän superpositio-olomuodosta (jota ei voida havaita) stabiiliin tilaan (jossa pysymisen todennäköisyys on 1) transitiomatriisin mukaisen kvanttievoluution eräänä tapauksena eikä siinä tarvita mitään "aaltofunktion romahdusta" tai mystistä "mittauksen" vaikutusta. Merkille pantavaa on, että myös Bohm on samalla ontologisella kannalla: "Bohmin ontologisessa tulkinnassa ei ole kuitenkaan mitään sellaista romahdusta. Elektroni ajatellaan aina sekä hiukkaseksi että aalloksi"[21] DPM:ssä *systeemi* on joko superpositiotilassa ("wave") tai realisoituneena stabiiliin tilaan ("particle"). Systeemi-termin käyttö yläkäsitteenä selkeyttää ilmaisua. – Kun Bohm valittaa, että "piilojärjestyksen teoriasta puuttuvat ne prinsiipit, jotka määräisivät, miten piilojärjestykseen kätkeytyvät mahdollisuudet aktualisoituvat

[18] Internetistä on luettavissa erinomainen Robert Doylen laatima johdatusartikkeli monine sitaatteineen ja viitteineen osoitteessa www.informationphilosopher.com tai Googlen hakusanalla informationphilosopher. Mainitussa kirjoituksessa on myös johdatettu lukijaa niiden tutkijoiden ja filosofien seuraan, joiden ajatusten rata kulkee informaatiofilosofian suunnassa tai sivuaa sitä merkitsevällä tavalla.

[19] On ollut teorian muodostusta jarruttavaa, että Bohm on tullut kvanttimekaanisten varhaistutkimustensa ja piilomuuttuja-ajatustensa vuoksi leimatuksi deterministiksi ja sen vuoksi monesti sivuutettu hänen myöhemmät syvälliset luonnonfilosofiset oivalluksensa ja visionsa. Poikkeuksia ovat Basil Hiley ja Paavo Pylkkänen, jotka ovat tehneet kiitettävää työtä Bohmin ideoiden esittelyssä ja analysoimisessa (Pylkkänen, 2007). Bohmia tulkitseva teksti tässä artikkelissa perustuu paljolti Pylkkäsen esitykseen.

[20] Suomennokset "piilo- ja ilmijärjestys" ovat tämän artikkelin tekijän käyttöönottamia.

[21] "In Bohm's ontological interpretation, however, there is not such collapse. The electron is always thought to be both a particle and a wave" (Pylkkänen, 2007, p. 33 alaviitta).

suhteellisen pysyvissä ja riippumattomissa muodoissa ilmijärjestyksessä”[22] , voidaan todeta, että DPM tarjoaa tähän johdonmukaisen ja luontevan “aineellistumis”-prinsiipin. Erityisen lähellä DPM:n kieltä ja analyysitapaa on hänen käyttöönottamansa *aktiivisen informaation* idea.

Robert Doyle – esitellessään informaatiofilosofiaa artikkelissaan (Doyle, 2011) – asettaa kysymyksen: *”Mitä on se informaatio, joka oikeuttaa sen käytön uuden filosofisen tutkimusmetodin perustana.”*[23]

Siihen hän vastaa: “Abstrakti informaatio ei ole materiaa eikä energiaa, mutta se kuitenkin tarvitsee materiaa konkreettiseksi ilmentymäkseen ja energiaa kommunikaatioonsa. Informaatio on *ei-aineellista*.”[24] Aineen ja energian mainitseminen, kun kuitenkin informaatiosta puhutaan ei-aineellisena, vaatii huomautuksen: informaatio ei ole ”puhdasta matematiikkaa” vaan suoraan vaikuttava, muotoava (in-forming) tekijä, ”aktiivista” – kuten Bohm esittää. Mutta *mitä* informaatio muotoaa? Vastatessa sorrutaan helposti ankaraan materialismiin, “biljardipallo-fysikalismiin”. On pidettävä mielessä, että systeemit sinänsä (an sich) ovat transsendenttisia, vain *todellisuuden tulkinta* on hallussamme. Siis: informaation *tulkintaan* tarvitsemme kuvauksen ainekseksi ainetta (informaation muotoamaa, aineeksi nimittämäämme substanssia, mutta ei sitäkään aina – joskus pelkkä logiikka riittää).

Informaatiofilosofia nojaa vahvasti kvanttimekaniikkaan, sen aaltomekaniikka-malliin, vaikkakin Doylen näkökulma viittaa pikemminkin diskreettiin kuvaukseen: ”Kvanttimekaniikka osoittaa maailmankaikkeuden arkkitehtuurin olevan diskreettiä pikemmin kuin jatkuvaa, pikemmin digitaalista kuin analogista.”[25]

Informaation eräänlainen ”alkusynty” nähdään mittaamisen tuottaman ”aaltofunktion romahduksen” aikaansaannokseksi: ”Jopa sen pienen, yksittäisen informaatiobitin muodostuminen, jota ei ollut olemassa aiemmin, vaatii jotakin, joka on ekvivalenttia ’mittaamiselle’. Tämä ’mittaaminen’ ei edellytä ’mittaajaa’, kokeen suorittajaa tai havainnoijaa. Se tapahtuu, kun probabilistinen aaltofunktio, joka kuvaa mittaamisen *mahdollisia* tuloksia (outcomeja) ’romahtaa’ ja energiahiukkasen materia *aktuaalisesti* löydetään jostakin.” [26] Huomattakoon, että DPM antaa tässä *laskennallisen* tuloksen kysymykseen, *paljonko* informaatio lisääntyy, kun mittaus ”siirtää” systeemin

---

[22] ”…the theory about the implicate order lacks principles that would determine how the potentialities enfolded in the implicate order are actualized as relatively stable and independent forms in the explicate order” (Pylkkänen, p. 31),

[23] *“What is information that merits its use as a foundation of a new philosophical method of inquiry?”*

[24] “Abstract information is neither matter nor energy, yet it needs matter for its concrete embodiment and energy for its communication. Information is *immaterial*.”

[25] “Quantum mechanics reveals the architecture of the universe to be discrete rather than continuous to be digital rather than analog.”

[26] “The formation of even a single bit of information that did not previously exist requires the equivalent of a ‘measurement’. This ‘measurement’ does not involve a ‘measurer’, an experimenter or observer. It happens when the probabilistic wave function that describes the *possible* outcomes of a measurement ‘collapses’ and a matter of energy particle is *actually* found somewhere” (Doyle, 2011).

superpositiotilasta stabiiliin tilaan. Kuvauksessaan DPM on siis tässä suhteessa tarkempi, kokonaan toisella analyysin tasolla.

Voidaan sanoa, että informaatiofilosofia on parin vuosikymmenen olemassaolonsa aikana ollut sinetöimässä sen valtavan muutoksen, joka kvanttimekaniikan vaikutuksesta oikaisi käsitystämme universumin kohtalosta. Lordi Kelvin v. 1852 oivalsi, että termodynamiikan toisesta laista seurasi välttämättömästi entropian (epäjärjestyksen) jatkuva lisääntyminen, minkä vuoksi informaatio kaikkeudessamme ei voinut pysyä konstanttina vaan oli tuhoutumassa vähitellen. Helmholtz dramatisoi asian esittämällä, että universumimme väistämättömänä kohtalona on "lämpökuolema", entropian maksimitila, josta kaikki informaatio on poissa.[27]

Koska entropia lisääntyi ja siis informaatio väheni, johtopäätös tästä oli selvä: Alussa entropian täytyi olla 0 ja informaation maksimissaan, josta se sitten oli ollut vähenemässä koko maailmankaikkeuden iän ajan. Mistä tuo informaatio tuli? Oliko edes teologeilla siihen vastausta?[28] Doyle kirjoittaa informaatiofilosofian nimissä: "Sen suljetun maailmankaikkeuden sijasta, joka vääntäytyy deterministisesti alaspäin korkean informaation alkutilasta, me toteamme, että kaikkeus on avoin ja informaatio lisääntyy siinä indeterministisesti."[29] Edelleen: "Informaatiofilosofia selittää, kuinka luonto ja ihmiskunta luovat uutta informaatiota jatkuvasti. Olemme maailmankaikkeutemme oheisluojia."[30]

Nojaten kvanttifysiikan löydöksiin David Layzer totesi v.1975: "Huolimatta termodynamiikan toisesta laista pysyviä ja säännönmukaisia informaatiorakenteita kehittyi alkukaaoksesta. Ensiksi kvanttiprosessit muovasivat mikroskooppista hiukkasmateriaa – kvarkkeja, baryoneja, nukleoneja ja elektroneja. Vähitellen näistä tuli atomeja. Myöhemmin – gravitaation vaikutuksesta – muodostuvat galaksit, tähdet ja planeetat."[31]

[27] Muistan tähtitiedettä harrastavana koulupoikana kokemani hetket yötaivasta katsellessa, kun mielikuvitus loihti ympärilleni "lämpökuoleman", missä mikään ei liiku, ei ääntele, kalliot ovat murentuneet jauhoksi ja jauho sumuksi ja sumukin on jääkylmää hyhmää eikä sitäkään; vain autiota tyhjyyttä, ei ajatusta, ei säveltä.

[28] Jos alussa kaikki informaatio oli "Jumalan tykönä", niin Belsebubko sitten otti vallan, koska se vähenee maailman ikääntyessä…

[29] "Instead of a closed universe that is winding down deterministically from an initial state of high information, we find the universe is open and increasing information indeterministically." (Doyle, 2011)

[30] "Information philosophy explains how new information is constantly being created, by nature and by humanity. We are co-creators of our universe." (Doyle, 2011)

[31] "Despite the second law of thermodynamics , stable and lawlike information structures evolved out of the initial chaos. First, quantum processes formed microscopic particulate matter – quarks, baryons, nuclei, and electrons. Eventually these became atoms. Later, under the influence of gravitation – macroscopic galaxies, stars and planets form." (Doyle, 2011)

Doyle kirjoittaa: ”Jokainen uusi informaatiorakenne vähentää paikallisesti entropiaa, joten [termodynamiikan] toinen laki vaatii saman määrän (tai yleisesti paljon suuremman määrän) poistamista. Ilman maailmankaikkeuden laajenemista tämä olisi mahdotonta.” [32] – Tämän katsomuksen mukaan universumissamme tapahtuu siis *sekä* niitä prosesseja., joissa entropia lisääntyy, *että* toisia, joissa se vähenee ja sen sijaan informaatio lisääntyy.[33]

Kosmologian löydökset ja filosofiset johtopäätökset niistä vaihtelevat näköjään muutaman vuoden jaksoissa. Silloin, kun on vallalla tulkinnassamme se käsitys, että maailmankaikkeus on laajenemassa, on lupa ajatella, että ergodiset prosessit lisäävät informaatiota nopeammin kuin entropia kasvaa[34]. Tästä (hyvin perustellusta) uskomuksesta informaatiofilosofia pitää kiinni ja päätyy huomattavasti lohdullisempaan kuvaukseen maailmankaikkeudesta kuin klassisen fysiikan ajan deterministit – jopa näkee siinä ihmiselle tällä hetkellä käsittämättömän korkeitten arvojen toteutumista, Teilhard de Jardinin hengessä. – Doyle kuvaa meneillään olevaa maailmankatsomuksen muutosta näin: ”1800-luvun näkemys maailmankaikkeuden loppuun sijoittuvasta lämpökuolemasta johti ilmeisen pessimistiseen maailmankatsomukseen. Informaatiofilosofia tarjoaa paljon optimistisemman näköalan, sellaisen, joka tukee näkemystä kaitselmuksen ohjaamasta kaikkeudesta. Meidän ’ergodiset’ informaatiota luovat prosessimme ovat lähde sille kaikelle, jolla on arvoa maailmankaikkeudessa.” [35]

Kosmologia ei ole suinkaan informaatiofilosofian ainoa sovellusala. Se avaa myös kiintoisia näkökulmia vapaan tahdon ja mind/body –problematiikkaan sekä merkitysten ja arvojen tutkimukseen. Nuo kysymyksenasettelut menevät kuitenkin tämän artikkelin teeman ulkopuolelle.

Informaatiotyhjiö:[36]

Systeemin *transitiotodennäköisyyksien matriisi* sisältää kaiken sen informaation, joka on käytettävissä systeemin tapahtumaprosessin kulun päättelyyn. Transitiomatriisi *säätelee* kvanttiprosessia.

---

[32] “Every new information structure reduces the entropy locally, so the second law requires an equal (or generally much greater) amount of entropy to be carried away. Without the expansion of the universe, this would be impossible.”

[33] “Creation of information structures means that in parts of the universe the local entropy is actually going down” (Doyle, 2011). Edelleen: “As the universe expands, both positive and negative entropy are generated.”

[34] ”The collapse of high entropy chaotic dust and gas into a low-entropy spherically symmetric star is the original ergodic ‘order out of chaos’.” (Doyle, 2011)

[35] “The nineteenth-century view of an ultimate heat death for the universe led to a distinctly pessimistic view. Information philosophy offers a much more optimistic view, one that supports the view of a providential universe. Our ‘ergodic’ information-creating processes are the source of everything of value in the universe.”

[36] Tieteessä aina ajan tasalla olleella luonnontieteen opettajallani, lehtori L. T. Helteellä Jyväskylän lyseossa 1930-luvulla, oli tapana lausua maksiiminaan: ”Tyhjimmässä tyhjiössäkin on kaksi molekyyliä!” Lausuman varsinaisen tarkoituksen ymmärsi, kuka ymmärsi.

Kuten on nähty, transitiomatriisin rakenne antaa aihetta kiinnostaviin ja syvällisiinkin päätelmiin. Tässä rajoitutaan vain seuraavaan esimerkkiin.

Oletetaan, että vain yksi systeemi ”Maailma” olisi olemassa ja sille mahdollisia tiloja n kappaletta. (Tämä on *hyvin suuri* luku, mutta diskreetissä tarkastelussa se ei kuitenkaan voi olla ääretön.)

Tarkastellaan sitä erityistä tapausta, jossa *kaikki transitiovektorit ovat homogeenisia*, siis kaikki todennäköisyydet ovat yhtä suuret (ja niiden summa = 1).

”Maailman” transitiotodennäköisyyksien matriisi olisi tässä tapauksessa:

	s_1	s_2	…	s_i	…	s_n	Σ
s_1	1/n	1/n	…	1/n	…	1/n	1
s_2	1/n	1/n	…	1/n	…	1/n	1
…							
s_n	…						

Tämän matriisin voidaan sanoa kuvaavan *informaatiotyhjiötä* (quantum vacuum).

Jos koetetaan mielessä simuloida “Maailman” tapahtumista tämän matriisin mukaisesti, huomataan, että informaatiotyhjiössä

1) jokainen ”hyppy” tilasta toiseen on täysin sattumanvarainen,
2) tilat ovat kaikki ”samanlaisia”,
3) prosessissa ei esiinny mitään invarianttisuutta ja että
4) siinä tapauksessa, että olisi jokin toinenkin tämän universumin U-systeemin ulkopuolinen systeemi, *vektori-interferenssi sen kanssa ei tuottaisi mitään muutosta* tuohon toiseen systeemiin, mutta tuo toinen systeemi, mikäli se ei olisi informaatiotyhjiö, *kopioituisi* U-systeemiimme.

Kaikki tämä – varsinkin kohta 4 – merkitsee mitä ilmeisimmin sitä, että mikään maailman ulkopuolinen ”riippumaton havaitsija” – vaikka sellainen olisikin – ei voisi havaita mitään. Jos jostakin ”havaitsemisesta” voidaan puhua, se (tai hän) havaitsisi vain oman kopionsa!

Systeemiä, jonka kuvauksena on homogeeninen transitiotodennäköisyyksien matriisi, kutsumme siis *informaatiotyhjiöksi*. Se on tyhjiö *fysikaalisessa mielessä* siksi, ettei se anna aineelle mahdollisuutta realisoitua (koska se ei sisällä yhtään yksikkövektoria) ja siksi, ettei se vaikuta mihinkään ulkopuoliseen systeemiin. Mutta onko se myös *informaatiosta* tyhjä? Onko termi informaatiotyhjiö oikeutettu?

Kun jokaisen rivivektorin informaatio = 0, koko systeemin info = 0.

Yleinen ratkaisu $Info_H$:lle, kun $p_i = 1/n$, on seuraava:

$$
\begin{aligned}
Info_H &= [\log(n) + n \bullet (1/n) \bullet \log(1/n)]/\log(2) \\
&= [\log(n) + 1 \bullet (0 - \log(n))]/\log(2) \\
&= [\log(n) - \log(n)]/\log(2) \\
&= 0/\log(2) = 0
\end{aligned}
$$

Vaikka informaatiotyhjiöllä ei ole mitään vaikutuksia muihin systeemeihin, *kaikilla informaatiota sisältävillä systeemeillä on itseään kopioiva vaikutus tyhjiönä esiintyvään maailmansysteemiin*. Tämä tarkoittaa sitä, että vektori-interferenssi informaatiota sisältävän systeemin I ja tyhjiön H välillä muuttaa tyhjiön H vektorit systeemin I vektoreitten kanssa identtisiksi, esim.:

Jos siis ilmaantuisi jostakin systeemi J (engl. G), joka interferoisi tyhjiösysteemin H (alkumaailman) kanssa, niin maailman tapahtumista alkaisi säädellä systeemin J transitiotodennäköisyyksien matriisi.

Mielenkiintoista on myös todeta: Jos *tämän jälkeen* ilmaantuisi systeemi P (engl B niin kuin Belsebub), jonka transitiotodennäköisyyksien matriisi muodostuisi J:n *inversiovektoreista*, ja se interferoisi systeemin J kanssa, tuloksena olisi palaaminen matriisiin H (maailman tai sen osan häviäminen), koska vektorin ja sen inversiovektorin interferenssitulos on H, homogeeninen vektori.[37] – Tässä loppuu logiikka ja alkaa spekulaatio eli tiede.

[37] Todettakoon, miten informaatiofilosofiassa määritellään *pahuus* ”Evil is not merely the absence of God, but the destruction of ergodic information structures, always fragile in the presence of entropic forces.”

Kirjallisuutta:

Alfonso-Faus, Antonio (n. 2013): Fundamental Principle of Information-to-Energy Conversion.

Doyle, Richard (2011): The Information Philosopher dedicated to the new information philosophy; internetissä osoitteessa: www.informationphilosopher.com

Enqvist, Kari: Antimateriasta. (Vuotta ei ole ilmoitettu (1998?), mutta osoite on: www.helsinki.fi/~enqvist/artikkeli.dir/antimateria.html~)

Gough, Michael Paul: Holographic Dark Information energy. Entropy, 2011, Vol. 13, pp. 924-935

Gudder, Stanley (1986): Discrete Quantum Mechanics. J. Math. Physics, *27*, 1782 (1986)

Pylkkänen, Paavo (2007): Mind, Matter and the Implicate Order. Springer Verlag, 2007.

Rainio, Kullervo (2008): Discrete Process Model for Quantum and Mind Systems. Research Reports 1/2008, Department of Social Psychology, Helsinki University, e-book, available in address: http://ethesis.helsinki.fi/valspsjul.html

Rainio, Kullervo (2009): Discrete process model for quantum systems of matter and mind. World Futures. The Journal of New Paradigm Research, 65 (4), 2009, pp. 270 – 303.

Rainio, Kullervo(2015): Kohti tajuntaprosessien teoriaa I – III. Luonnonfilosofian Seura/Verkkojulkaisut

Rainio, Kullervo – Malaska, Pentti (2011c): Vektori-interferenssi diskreetissä kvanttimekaniikassa. http://www.lfs.fi/julkaisuja/verkkojulkaisuja/

Tonomura, Akira (2003): Visualizing the quantum phenomena occurring in the nanoscale with electron waves. RIKEN Wako Institute. RIKEN NEWS, no. 268, October 2003.

Liite 1. Jodi-131:n radioaktiivinen hajoaminen

Lähdetään radioaktiivisen aineen puoliintumiskaavasta

$N(t) = N_0 \bullet (\frac{1}{2})^{t/T}$, jossa T = puoliintumisaika (Jodi-131: 8 vrk), N_0 =ainemäärä prosessin alussa, t = tarkasteltava aikajakso ja N(t) = ainemäärä aikajakson lopussa.

Etsimme kuvaukseemme aika-askeleen pituutta ja sijoitamme t:n paikalle x:n. Tarkastelemme yhtä systeemiä (jodi-atomia) joten ainemääräksi merkitsemme 1. Olkoon p se todennäköisyys, jolla ainemäärä yhdellä askeleella hajoaa. On realistista ajatella se hyvin pieneksi; olkoon se p= 0.000001. Koska aikajakso, jonka pituutta etsimme, on 1 aika-askel, silloin N(t) on ainemäärä, joka yhden aika-askeleen kuluttua on hajoamatta eli 1-p. Sijoitamme nämä kaavaan ja ratkaisemme yhtälön x:n suhteen:

$1- .000001 = 1 \bullet (\frac{1}{2})^{x/8}$ (x määräytyy vuorokausi-yksikössä)

x=8•log(.999999)/log(.5) vrk

Ratkaistuna aika-askeleen pituus on siis x= 0.00001154 vrk

Sekunneiksi muutettuna aika-askel = 86400 • 0.00001154 sek = **0.997 sek** eli n. 1 sek.

Tarkistus: $(\frac{1}{2})^{0.00001154/8} = (\frac{1}{2})^{0.0000014425} = .9999990$ joka on = 1– .000001.

Kvanttievoluutio ja informaation muutokset (DPM-kuvauksessa) jodin hajotessa:
Alkutilanne eli lähtömatriisi olkoon nyt **M**

$$\begin{array}{lll} & \text{Ei-haj.} & \text{Haj.} \\ \text{Ei-haj.} & (.999 & .001) \\ \text{Haj.} & (0 & 1 \quad) \end{array}$$

Hajoamisen p aika-askelta kohti on tässä valittu .001:ksi, edelliseen esimerkkiin verrattuna 1000-kertaiseksi. Kun puoliintumisaika = 8 vrk, laskelmat osoittavat, että aika-askelen tässä kuvauksessa on oltava 0.0115473 vrk eli 997,69 sek eli noin 1000 sek.

Näiden kahden esimerkin vertailu jo osoittaa, että siirryttäessä kuvauksesta toiseen niin, että transitiotodennäköisyyttä tai aika-askelta muutetaan, suhde $p/\Delta t$ on säilytettävänä samana.

Kun lasketaan sarja matriisipotenssseja, nähdään, mitkä ovat todennäköisyydet toisaalta sille, että jodiatomi ei ole hajonnut, ja toisaalta sille, että hajoaminen on tapahtunut eksponentin osoittaman aika-askelten määrän jälkeen. Puoliintumisajan kuluttua tilavektori on .(5, .5). Kun kuvauksessamme p=.001, puoliintumisaika on 692 aika-askelta, koska $\mathbf{M}^{692}$ tuottaa 1. rivivektoriksi (.5, .5). Kannattaa panna merkille, että vuorokausissa mitaten tuo aika on

692 x aika-askel = 692 x 0.01155 vrk = 7.9926 eli jokseenkin tarkkaan 8 vrk.

Tilavektori muuttuu sitten vähitellen kohti muotoa (0, 1). On mielenkiintoista seurata informaation muutoksia systeemin eri vaiheissa: Systeemin informaatio vähenee nopeasti alussa minimiinsä 1.0 asti (692:n askeleen jälkeen) ja kasvaa sen jälkeen saavuttaakseen (3 desimaalin tarkkuudella) huippuarvon 2.0 askeleella 7598. Tuloksia on koottu Tauluun Liite 1.1.

Huomautus: Jos oletettaisiin, että p = 0.0001, puoliintumisaika saavutetaan vasta askeleella 6922 ja tarvitaan peräti 78991 askelta, ennen kuin kolmen desimaalin tarkkuudella matriisi saa muodon
(0, 1)
(0, 1)

Mainittakoon, että p:n ollessa .000001 matriisi M^{692000} on (.5, .5)
(0, 1) ja puoliintumisajaksi tulee näin ollen 692000 aika-askelta eli sekuntia, joka on vuorokausina 692000/86400 vrk = 8.009 vrk.

Taulu Liite 1.1 . Jodi-131:n hajoaminen ja informaation muutokset

Matriisin toinen rivi on aina (1, 0) ja sen informaatio 1. Näitä ei ole erikseen näytetty.

Matriisin eksponentti	Matriisin 1. rivi		1. rivivektorin informaatio	
1	.999	.001	0.9886	
100	.905	.095	0.547	
200	.819	.181	0.318	
300	.741	.259	0.175	
500	.606	.394	0.033	
692	.500	.500	0.000	
1000	.368	.632	0.051	
2000	.135	.865	0.429	
5000	.007	.993	0.9398	
7000	.001	.999	0.9886	
7598	0	1	1.0	(7598 aika-askelta on noin 87,9 vrk eli 3 kk.)

"Aktiivinen informaatio": Taulusta huomataan, että transitiomatriisi "ohjaa" alussa prosessia jokseenkin "määräävästi" (sen vaihtoehdon suuntaan, että hajoamista ei tapahdu), mutta 8 vrk:n kuluttua sillä "ei ole mitään sanomista" prosessin kulkuun(valikoituuko "ei ole hajonnut" vai "on hajonnut").

Huomautus: Tässä voimme hyvällä omallatunnolla personoida informaation, sillä se on todella aktiivista ja siis "tahtovan subjektin käyttäytymisen" kaltaista. Voimme puhua tässä yhteydessä *kvasitahdosta* – ikään kuin tahdosta – funktionaalisesti tahtoa muistuttavasta asiasta.

Tämän jälkeen matriisi alkaa vähitellen ohjata tapahtumista niin, että noin 24 vrk:n kuluttua prosessin alusta (2000 askelta) hajoamista tapahtuu noin 6 kertaa enemmän kuin hajoamatta jäämisiä. – Jos siis Veikko Veikkaaja ja Oiva Tuuri lyövät vetoa siitä, hajoaako atomi ensimmäisen vrk:n aikana (87 aika-askelta), Veikon, joka väittää atomin jäävän hajoamatta sinä aikana, kannattaa voittaakseen tarjota 5, 6, jopa 9 kertaa enemmän kuin Oivan, joka väittää vastaista. Mutta entä, jos Oiva lyö vetoa siitä, että 8 vrk:ssa atomi on hajonnut. Kumpikin voittaa keskimäärin vuorotellen eli kumpikaan ei pitkässä sarjassa voita mitään. Veikkokin, joka tuntee jodi-131:n hajoamislain, on avuton, koska – *"aktiivinen informaatio"* on "avuton": transformaatiomatriisi ei tässä tilanteessa "ohjaa" millään tavalla tapahtumisen suuntaa, ei edes osittain. Tätä merkitsee se laskutulos, että tilavektorin informaatio on 0. Sitä ei ole myöskään Veikolla eikä Oivalla, sillä he eivät voi tietää varmasti mitään. Mutta sitä ei ole myöskään "Mahtavalla Vaikuttajalla", aktiivisella informaatiolla, joka toisinaan kuitenkin (kun p on 1 tai likimain) miltei "diktatorisesti määrää", mikä vaihtoehto valikoituu. Luonnollistahan onkin, että aktiivisen informaation vaikutus tapahtumiseen vaihtelee sen määrän vaihdellessa.

Liite 2. Tilavektorin jakaminen useampiin luokkiin, esimerkkejä

Luvussa 2.3 todettiin, että tilavektorin informaatio ei muutu, vaikka sen elementit jaetaan kukin tasan kahdeksi elementiksi, nämä taas kahdeksi jne. Tässä liitteessä osoitetaan esimerkeillä, että sama pätee kaikilla kokonaisluvuilla k = 2, 3, 4. … Tulokset laskelmista on esitetty taulussa Liite2.1.

==

Taulu Liite 2.1. Tilavektorin elementtien jakaminen osiin

			Informaatio:
Esim. 1) Tilavektori	**T**:	(1, 0)	1.0
Jakaja	k = 2 :	(.5, .5, 0, 0)	1.0
	k = 3 :	(.333, .333, .333, 0 …)	1.0
	k = 4 :	(.25, .25, .25, .25, 0 …)	1.0
	k = 5 :	(.2, .2, …, 0, …)	1.0
	k = 6 :	(.1667, .1667,…, 0, …)	.9998 ≈1
	k = 10 :	(.1, .1, … , 0, …)	1.0
Esim. 2)	**T**:	(.6, .4)	.029
	k =2 :	(.3, .3, .2, .2)	.029
	k =3 :	(.2, .2, .2, .1333, .1333, .1333)	.0291
	k = 4 :	(.15, .15, … , .1, .1, …)	.029
	k = 5 :	(.12, .12, …, .08, ,08, …)	.029
Esim. 3)	**T**:	(.2, .3, .5)	.0995
	k = 2 :	(.1, .1, .15, .15, .25, .25)	.0995
	k = 3 :	(.066, .066, .066, .1, …, .166, …)	.1002 ≈.0995
	k = 4 :	(.05, .05, …, 075, … , .125, …)	.0995
Esim. 4)	**T**:	(.2, .3, .5)	.0995
		(.2, .15, .15, .25, .25)	.0365
		(.1, .1, .1, .1, .1, .25, .25)	.1464

Esimerkeissä 1-3 informaatio säily vakiona, mutta ei esimerkissä 4.

==

Huomautus: Taulussa Liite 2.1 esimerkein havainnollistettu informaation vakioisuus voitaneen yleisestikin todistaa lähtemällä siitä, että $p'_i = kp_i$ ja $n' = kn$, muodostamalla informaation I' laskukaava ja osoittamalla, että I' = I. Siihen ei kuitenkaan tässä ole tarvetta.