

# Kohti tajuntaprosessien teoriaa

## II. Fyysisen ja tajunnallisen vuorovaikutus

Kullervo Rainio

**Tiivistelmä:** Tässä artikkelisarjan toisessa osassa esitetään tiiviissä muodossa diskreetti prosessimalli ensin diskreettiin kvanttimekaniikkaan (DQM) sovitettuna. Tässä uudessa viitekehyksessä kuvataan sitten aivojen ja tajunnan vuorovaikutusta eli esitetään brain/mind –probleeman matemaattinen ratkaisu Ecclesin interaktioteorian mukaisesti. Se mahdollistaa seuraavan askeleen, matemaattisen ratkaisun myös havaitsemisen perusproblemaan: Miten fyysisen rakenteen sisältämä informaatio siirtyy mentaaliseen rakenteeseen?

**Avainsanoja:** diskreetti kvanttimekaniikka, Ecclesin teoria, eksosytoosi, havaitsemisen, interferenssi, oppiminen, psykofyysinen, stokastinen, tiedostamaton, tietoisuus, tilavektori, transitio

Rainio, Kullervo: Towards a Theory of Mind Processes; II Brain/Mind Interaction

**Abstract:** In this second part of the series of three articles, there will be described our discrete process model in a concise form, first adjusted to the discrete quantum mechanics (DQM). In this new framework, there will be described the interaction between brain and mind (consciousness) according to the Eccles' dualistic interaction theory. It makes possible the following step: a solution to the fundamental problem of perception, i.e., how the information included in physical structure (matter) can transit to a mental structure.

### *Sisällys*

1. Diskreetti prosessimalli (DPM); perusolettamukset ja rakenne	s.2
2. Tajuntaprosessin dynamiikkaa DPM:n viitekehyksessä	s. 5
2.1. Transitioyrityksen onnistuminen	s. 5
2.2. Tietoisuuden kentät ja tilavektorin muodostuminen. Oppiminen	s. 6
2.3. Aivojen ja tajunnan yhteys. Ecclesin teoria	s.10
2.4. Ecclesin brain/mind -teorian matemaattinen malli	s.12
2.5. Havaitsemisen stokastinen teoria	s.14
Kirjallisuutta	s.19

# 1. Diskreetti prosessimalli (DPM); perusolettamukset ja rakenne<sup>1</sup>

DPM rakentaa kvanttimekaanisten systeemien kuvauksen Heisenbergin matriisimekaniikan periaatteiden mukaisesti. Se esittää siis kvanttitapahtumisen lähtökohtanaan *diskreetti kvanttimekaniikka* (Discrete Quantum Mechanics) Esimerkkinä tästä kuvausratkaisusta mainittakoon Stanley Gudderin kehittämä malli (Gudder, 1986), jota koskevan artikkelin Discrete Quantum Mechanics abstraktia on siteerattu seuraavassa. (Gudder on matematiikan professori Denverissä) (Kursivoinnit lisätty):

“Esitetään kvanttimekaniikan *diskreetti malli*. Ensiksi muodostetaan *diskreetti avaruus*  $S$  yhdistämällä graafin solmut ja haarat. Dynamiikka kehitetään tuomalla  $S$ :ään polkuja ja diskreettejä trajektoreja. Amplitudifunktiota käytetään laskettaessa *kvanttitapahtumien todennäköisyyksiä*... Monet tulokset voidaan formuloida *transiitodennäköisyyksien* ja unitaaristen operaattoreiden termein Hilbert avaruudessa.”<sup>2</sup>

Kvanttimekaniikan standarditeoriaa Gudder arvostelee artikkelin johdannossa:

“Nämä teoriat [QED ja QCD] eivät voi onnistua, koska avaruus-aika ei ole jatkuva vaan diskreetti. Luonnossa on vallalla elementaarinen pituus ja elementaarinen aika ja kaikkien pituus- ja aikamittausten pitää olla näiden kokonaisluku-kerronnoisia.” ... ”... tässä esitetty on kvanttimekaniikan diskreetti malli, jota voidaan kutsua graafidynamiikaksi (QGD)”<sup>3</sup>

DPM:n peruskäsitteet ja –olettamukset on esitetty seuraavassa 15:nä kohtana, joista kohdat 1-7 muotoilevat kvanttievoluutio-prosessin ja kohdat 8-15 sen laajennuksen tajuntaprosessin stokastiseksi malliksi:

1. Systeemien *tilat* ovat toisistaan erotettavia (diskreettejä) elementtitilojen *superpositiotiloja*.
2. *Aika* on diskreetti muuttuja ja aika etenee (muuttuu) peräkkäisinä *aika-askelina*.
3. Tilasta toiseen siirtyminen yhden aika-askelen kuluessa tapahtuu *siirtymä- eli transiitodennäköisyyden* mukaisesti.
4. Ajan hetkenä  $t$  tilasta  $a$  muihin tiloihin siirtymisten transiitodennäköisyydet muodostavat tilan  $a$  *tilavektorin* hetkenä  $t$ . (Pysyminen tilassa  $a$  kuuluu sekin transiitioihin ja tilavektorissa on mukana myös sen todennäköisyys,  $p_{a,a}$  .)

---

<sup>1</sup> Diskreetistä prosessimallista (DPM) on yksityiskohtaisempia esityksiä aiemmissa julkaisuissani, esim. Rainio, 2006, 2008 ja 2009a.

<sup>2</sup> “A *discrete model* for quantum mechanics is presented. First a *discrete phase space*  $S$  is formed by coupling vertices and edges of a graph. The dynamics is developed by introducing paths or discrete trajectories in  $S$ . An amplitude function is used to compute *probabilities of quantum events* ... Many of the results can be formulated in terms of *transition probabilities* and unitary operators on a Hilbert space.” (Gudder, 1986, abstract)

<sup>3</sup> “These theories [QED, QCD] cannot succeed because space-time is not a continuum but is discrete. There exists in nature an elementary length and an elementary time and all length and time measurements must be integer multiples of these.” (Gudder, 1986, p. 1)

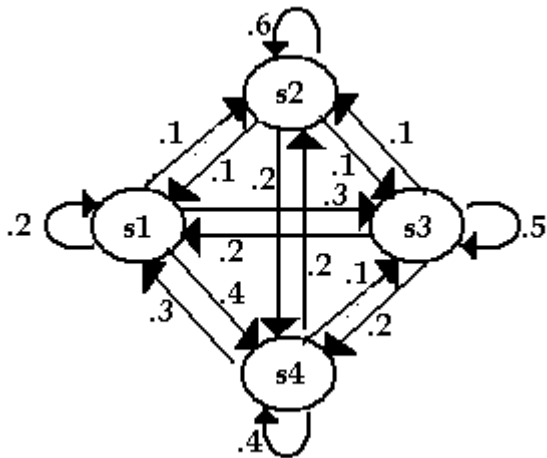
“... we present a discrete model for quantum mechanics that might be called quantum graphicdynamics (QGD).” (Gudder, 1986, p. 1)

Transitiotodennäköisyyksistä on graafissa ja erikseen matriisina esitetty esimerkki kuvassa 1.1 ja taulussa 1.1 ja tilan  $s_1$  tilavektorista kuvassa 1.2. Tilojen lukumäärä  $n$  on esimerkissä 4. (Teoreettisesti se voi olla  $1 < n < \infty$ .)

5. Systeemin *evoluutioprosessi* on perättäisinä aika-askelina superpositiotilasta toiseen tapahtuvien siirtymien ketju.

6. Se, mikä tilavektorin elementtitaloista valikoituu systeemin *aktuaaliseksi tilaksi* ajan seuraavana hetkenä, määräytyy *outcomena* tilavektorin todennäköisyyksien mukaisesta "arvonnasta". (Tässäkin tapauksessa jääminen aktuaaliseen tilaan  $\mathbf{a}$  on yksi vaihtoehtoinen mahdollisuus – ja sillä on oma todennäköisyytensä tilavektorissa,  $p_{\mathbf{a},\mathbf{a}}$ .)

Kuva 1.1. Transitiotodennäköisyydet graafikuvauksessa



Taulu 1.1. Transitiotodennäköisyyksien matriisi. Esimerkki sama kuin kuvassa 1.1.

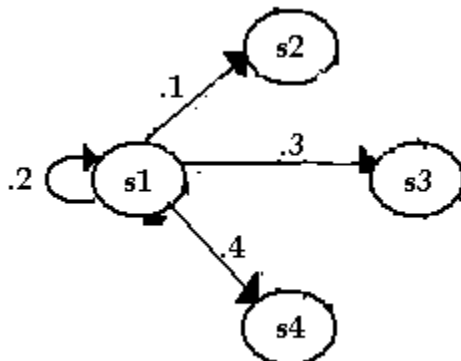
	Tilat				Summat
	s1	s2	s3	s4	$\Sigma$
s1	[.2	.1	.3	.4]	1
s2	.1	.6	.1	.2	1
s3	.2	.1	.5	.2	1
s4	[.3	.2	.1	.4]	1

Huomautus: Ns. "kvanttihyppy" (quantum jump) toteutuu siis *jokaisella aika-askeleella*, joten paljon pohdittua kysymystä siitä, miten "mittaus" saa aikaan kvanttihypyn, ei voida lainkaan asettaa. Hyppy seuraa tilojen erottuvuudesta, diskreettisuudesta. Yhdestä mystisestä kysymyksestä on siis päästy eroon, mutta tilalle on tullut toinen: miten "luonto suorittaa arvonnasta" vaihtoehtoisten mahdollisuuksien välillä.

7. Jos tilavektorissa pysymisen todennäköisyys jossakin tilassa ( $p_{\mathbf{a},\mathbf{a}}$ ) on 1 ja muut transitiotodennäköisyydet siis nollia, vektoria sanotaan *stabiloivaksi* tilavektoriksi. Jos evoluutioprosessi kohtaa tämän tilan  $\mathbf{a}$ , se jää siihen. Siten tila  $\mathbf{a}$  ei ole enää superpositiotila vaan määrätty tila. Sen stabiilisuus mahdollistaa ("antaessaan aikaa") sen havaitsemisen, joten systeemin voidaan katsoa tuossa tilassaan esiintyvän *aineellisena*

=====  
Kuva 1.2. Tilavektori

A) Graafimuodossa



B) Vektorimuodossa

	Tilat				
	s1	s2	s3	s4	$\Sigma$
s1	(.2	.1	.3	.4)	1

=====

(Kvanttisysteemin tilan ”havaitseminen” ei tietenkään voi tapahtua sananmukaisesti – välittömästi – vaan päättelyn tietä, mikäli siihen on makrofysikaalisia keinoja ja päättelyn kulku riittävän loogista.)

Edellä on esitetty tiiviissä muodossa systeemin kvantttilojen ja niiden muutosten kuvaus, kvanttisysteemien **transitio-** eli **evoluutiodynamiikka**.

Kvanttisysteemien välinen *kietoutuneisuus*<sup>4</sup> (entanglement) tuottaa oman **interferenssidynamiikkansa**, joka sisältää lyhyesti kuvattuna seuraavat kohdat 8-15. Niissä tuodaan esiin nimenomaan **tajuntasysteemiin** liittyvät perusolettamukset:

8. Tajuntasysteemin *tiedostamattomassa* osasysteemissä tilat ovat superpositiotiloja. Kunakin ajan hetkenä ”luonto arpoa” niistä yhden (kuten edellä kohdassa 4), joka nousee *tietoisuuteen* hahmottuvaksi mielikuvaksi (”realisoituu” ”sisäiselle havainnolle”).

9. *Tajuntasysteemin* jokaisella tietoisuuteen nousseella tilalla (tilan mielikuvalla) on *merkitys*. Tajuntaprosessin kuvauksessa tarkastellaan vain niitä tiloja, joiden merkitys on analysoitavan *tilanteen* kannalta *relevantti*, ts. tiloja, joihin siirtymisen todennäköisyyden katsotaan olevan riittävästi 0:sta poikkeava. – *Tilanteella* tarkoitetaan aktuaalista tilaa ja niitä tiloja, joihin on siitä mahdollista siirtyä yhdellä aika-askeleella. Tilannetta havainnollistaa graafi kuvassa 1.2.

---

<sup>4</sup> Varhaisessa vaiheessa käyttöön tullut entanglement-sanan suomennos ”lomittuminen” on huono. Sen tilalla käytetään tässä artikkelissa osuvampaa käännettä ”kietoutuminen”.

10. Tilan merkityksellä on dynaaminen aspektinsa: se on joko *attraktiivinen* tai *repulsiivinen*.

*Huomautus:* Tässä on aiheellista tarkastella lähemmin tilan mielikuvan merkitysisältöä. Voimme jakaa sen kahteen komponenttiin: a) tilan dynaamiset, prosessin kannalta relevantit ominaisuudet ja b) tilan itseisominaisuudet (*intrinsic properties*). Mielikuva tilasta voi olla hyvin ”elävä”, kuten sanotaan; yksi yksilö voi nähdä rannan tutuna kallioisena maisemana venelaitureineen, toinen rantaniityn jatkeena kellokukkineen. Nämä ovat epäilemättä sellaisia tilan sisäisiä eli itseisominaisuuksia, kvalia-ominaisuuksia, joilla ei tunnu olevan mitään tekemistä probleemanratkaisun prosessin kulun kanssa, mutta niihin voi kuitenkin liittyä myös jokin dynaaminen piirre. Ne tekevät esimerkiksi tilasta attraktiivisemmän (s.o. suurentavat sen tilan todennäköisyyttä tulla valituksi) – tai vastaavasti repulsiivisemmän (karkoittavamman).

11. Attraktiiviset tilat muodostavat *kenttiä*, jotka lisäävät niihin kuuluvien tilojen siirtymä- eli transiitiodennäköisyyksiä; repulsiiviset kentät vastaavasti pienentävät niitä. (Kentistä lähemmin tuonnempana.)
12. Tajuntaprosessissa *totentuu* vain siirtymäyritys, jonka *tietoisuus* kokee (hahmottaa, päättelee, ”uumoilee”) *onnistuvan*. (Onnistumisehto)
13. Yrityksen onnistuminen/epäonnistuminen tuottaa *oppimisvahvistuksen*, onnistuminen palkitsevan, epäonnistuminen rankaisevan. Se muuttaa yrityksen valikoitumisen todennäköisyyttä, tilavektoria, myöhemmin esitettävällä tavalla, mutta tuottaa myös *muistikuvan* onnistumisesta/epäonnistumisesta eli liittyy siirtymän merkitykseen *lisämerkityksen*: ”onnistuu” tai ”epäonnistuu”.
14. Tajuntaprosessi on *intentionaalinen* siinä mielessä, että niissä tilanteissa, joissa päämäärä tulee esille yhtenä valittavana tilana, ne kentät, joihin se kuuluu, esiintyvät erityisen attraktiivisina. Sama koskee – vähemmässä määrin – myös välipäämääräksi koettuja tiloja. (*Kentän* käsite ja dynaamiset ominaisuudet esitetään seuraavassa luvussa.)
15. Jos tajuntaprosessissa on kysymys probleemanratkaisusta, sen oletetaan tapahtuvan probleematilanteen *kognitiivisena simulaationa*. Tällöin *valinta*, so. esiin valikoituvien yritysvalintoheitojen hyväksyminen tai hylkääminen nousee tajuntaprosessissa keskeiseksi ja prosessin ennustettavuus kasvaa. (Fantisoinnissa tämä ”kriittinen” toiminto voi jäädä satunnaiseksi ja kognition simuloiminen tulee komplisoiduksi, jopa mahdottomaksi.)

## 2. Tajuntaprosessin dynamiikkaa DPM:n viitekehyksessä

### 2.1 Transitioyrityksen onnistuminen

Kussakin tilanteessa voidaan siis tajuntaprosessin dynamiikkaa kuvata graafilla tai matriisialgebralla. Graafissa tilat esiintyvät solmuina (node) ja siirtymämahdollisuudet haaroina eli vertekseinä (vertex) – tai, suunnatussa graafissa, nuolina (arrow). Jokaiseen siirtymämahdollisuuteen liittyy sen todennäköisyys tapahtua yhden aika-askelen kuluessa.

*Huomautus: Toisin kuin kvanttimekaniikan stokastisessa kuvauksessa tajuntasysteemin teoriassa siirtymä (transitio) ajatellaan muodostuvaksi kahdesta komponentista: siirtymäyrityksestä (trial) ja sen onnistumisesta (success). Siten tajuntasysteemin siirtymä tilasta toiseen tapahtuu aina kahdella ehdolla a) että yritys on tehty ja b) että se on onnistunut.*<sup>5</sup>

Mihin yrityksen onnistuminen sijoittuu tajuntaprosessin kuvauksessa?

Onnistuminen ei ole mitään sellaista, jonka tajunta voisi valita eri vaihtoehtojen joukosta; se ei siis ole tila. Katsomme, että se *kuuluu osana tilan merkitykseen*. Tämä tilan merkityksen dynaaminen komponentti määräytyy lähinnä muistista tai probleeman loogisesta rakenteesta. DPM:ssä onnistuminen määräytyy stokastisena ”arpomisena” onnistumisen todennäköisyysvektorista, joka rakentuu monenlaisista osatekijöistä: probleeman loogisesta rakenteesta tai – mikäli siirtymä on esiintynyt aikaisemmin – muistin sisällöstä ko. tilanteessa. Voidaan tehdä se yksinkertainen olettaus, että *tutussa* tilanteessa siirtymäyrityksen onnistumisen todennäköisyys on – oppimisen tuloksena – joko 1 tai 0 ja *uudessa* tilanteessa 1, ellei esiinny epäilyksiä onnistumisesta. Tällainen yksinkertaistus on paikallaan rajoitetuissa, esim. pelitilanteissa, mutta on ajateltavissa, että joissakin komplisoiduissa tietoisuuden prosesseissa on oletettava onnistumisen outomen ratkaisemiseen oman erillisen alasysteemin kenties hyvinkin laaja stokastinen prosessi.<sup>6</sup>

Onnistumisen koodaamisen tajuntaan ajatellaan siis tapahtuvan, toistuvissa tilanteissa, *muistin* avulla. Tässä on juuri yksi oleellinen ero fyysisten ja tajuntasysteemien välillä. Kvanttimekaniikassa on nimittäin usein korostettu juuri sitä seikkaa, ettei systeemin aikaisempi historia vaikuta prosessin kulkuun, systeemillä ei ole muistia.

## **2.2 Tietoisuuden kentät ja tilavektorin muodostuminen. Oppiminen**

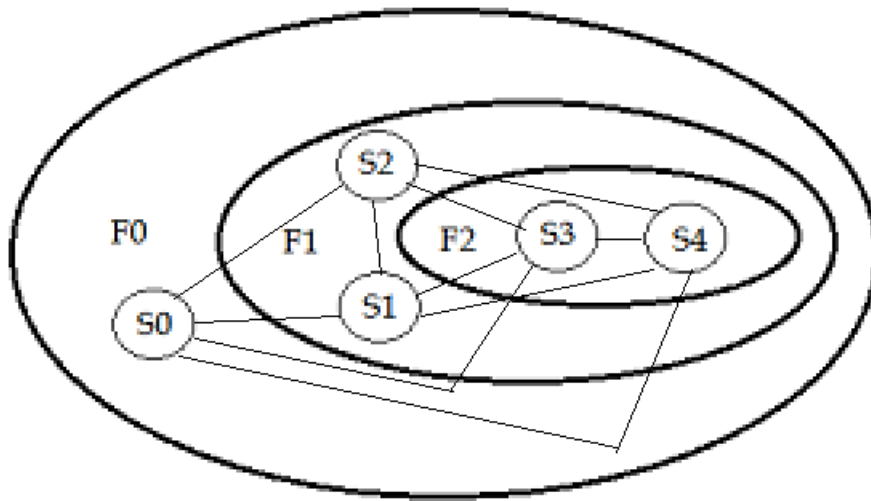
Kulloinenkin tajunnan tilanne kokonaisuudessaan sisältyy subjektin (tajuntasysteemin) ”elämänkenttään”, Life Space. (Käsite on lainattu Kurt Lewinin topologisesta psykologiasta (Lewin, 1938.)) Probleematilanteessa ajatellaan niin, että siinä elämänkentän sisällä on (subsumptiosuhteessa  $DS \subset LS$ ) suppeampi ”päätöksentekokenttä” ( $DS =$  Decision Space), johon sisältyvät kaikki tilanteessa relevantit tilat graafin solmuina ja niiden väliset transitiomahdollisuudet nuolina tai vertekseinä. – Elämänkentässä voi esiintyä lukuisia kenttiä, joissa kussakin on yksi tai useampia tiloja. Kentät voivat olla erillisiä tai ”overlapping” tai subsumptiosuhteessa toisiinsa. Kuvassa 2.1 on esimerkki viittä tilaa kuvaavasta graafista ja kolmesta sisäkkäisestä kentästä.

***Kenttien valenssit ja potenssit:*** Päätöksentekokenttään kuuluvat kaikki (relevantit) tilat. Sen sisällä voi olla muitakin kenttiä, joihin kuuluu tilojen osajoukkoja. Kentät ovat

<sup>5</sup> Tämä olettaus on osoittautunut keskeisen tärkeäksi empirian kannalta – simuloitaessa ryhmän sokkelotehtävää (Group Maze, ks. Rainio, 1972).

<sup>6</sup> Siirtymän onnistumista/epäonnistumista tarkastellaan yksityiskohtaisemmin III artikkelissa päätöksentekoesimerkin yhteydessä (Rainio, 2015c).

Kuva 2.1. Graafikuvaus tilojen sijoittumisesta kenttiin



joko attraktiivisia tai repulsiivisia (tai ambivalentteja, joita ei kuitenkaan käsitellä tässä yhteydessä). Tämä ominaisuus liittyy kenttään kuuluvien tilojen (dynaamiseen) merkitykseen. Ne tilat, joilla on samansuuruinen attraktio, sijoitetaan kuvauksessa samaan kenttään. Kentän attraktiota mitataan kentän valenssilla, joka attraktiivisen kentän yhteydessä on positiivinen siten, että todennäköisyys pysyä kentässä ja siirtyä kentän ulkopuolelta kentän sisälle ovat kumpikin = 1, kuten seuraavassa on matriisilla kuvattu:

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{v} \\
 \text{non-F} \quad \text{F} \\
 \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 \text{F} & \begin{array}{cc} \lrcorner & \llcorner \end{array} \\
 & \begin{array}{cc} 0 & 1 \end{array} \\
 \hline
 \text{non-F} & \begin{array}{cc} \lrcorner & \llcorner \end{array} \\
 & \begin{array}{cc} 0 & 1 \end{array} \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array}$$

Jos F:ssä on  $n$  elementtitilaa  $s_{F,i}$ ,  $v$ -arvo 1 jakautuu tasan niille ja on siis  $1/n$ . – Repulsiivisen kentän valenssi kuvataan vastaavasti matriisilla:

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{v} \\
 \text{non-F} \quad \text{F} \\
 \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 \text{F} & \begin{array}{cc} \lrcorner & \llcorner \end{array} \\
 & \begin{array}{cc} 1 & 0 \end{array} \\
 \hline
 \text{non-F} & \begin{array}{cc} \lrcorner & \llcorner \end{array} \\
 & \begin{array}{cc} 1 & 0 \end{array} \\
 \hline
 \end{array}
 \end{array}$$

Jos kentässä non-F on  $n$  non-F-tilaa  $s_{\text{nonF},i}$ ,  $v$ -arvo 1 jakautuu tasan niille ja on siis  $1/n$ .

Tilan transiitodennäköisyys määräytyy kenttien komponenttivektoreista siten, että ne interferoivat F0- eli DS-kentän  $p$ -vektorin  $p_{0,j}$  kanssa, jonka jälkeen saadut vektorit lasketaan yhteen. Painoina käytetään kunkin kentän potenssia, joka on  $0 \leq \text{PotF} \leq 1$ ;

potenssien summa = 1. – Huomautus: Kun kuitenkin F0:n tilavektori on aina homogeeninen, interferenssi sen kanssa ei tuota mitään muutosta (Rainio, 2008, p. 88), joten käytännössä voidaan yksinkertaisesti laskea suoraan komponenttivektorien potensseilla painotettu summa. – Taulussa 2.1 on eräs laskuesimerkki.

Termit *valenssi* ja *potenssi* on lainattu Lewiniltä (Lewin, 1938).

Esimerkkejä kenttien vaikutuksesta tajuntaprosessin transiitiodennäköisyyksien matriisiin on myös artikkelissa Rainio, 2014, ss. 23-24 (”joen ylityksen” probleematilanteitten kuvausten yhteydessä).

Taulu 2.1. *Tilavektorin muodostuminen kenttien vektoreista*

Kentät: F0 = DS: kaikki 5 tilaa; F1: tilat S1-S4; F2: tilat S3-S4  
(Samat kentät ja tilat graafisesti kuvassa 2.1.)

Tilavektorin komponentit ja kenttien potenssit:

Tilan S0 tilavektori:

Kenttä	Tilat					Kenttien potenssit
	S0	S1	S2	S3	S4	
F0	.2	.2	.2	.2	.2	.1
F1	0	.25	.25	.25	.25	.4
F2	0	0	0	.5	.5	.5

Potensseilla painotettuina:

F0	.02	.02	.02	.02	.02
F1	0	.1	.1	.1	.1
F2	0	0	0	.25	.25

Painotetut summat:

**.02 .12 .12 .37 .37**  $\Sigma = 1$

**Oppiminen:** Onnistumisella ja epäonnistumisella on oletettava olevan oppimisvahvistuksensa, paitsi myöhempään onnistumiseen/epäonnistumiseen – myös tilavektoriin (tiedostomattomassa). Oppiminen on luonteeltaan yritys-erehdys (trial and error) -oppimista. Se voitaisiin esittää matemaattisesti *Bushin ja Mostellerin kahden operaattorin mallilla* (two-operator model). Sen asemasta DPM:ssa käytetään samaan tulokseen johtavaa *oppimisen kenttävaikutusmallia* (Bush & Mosteller, 1955). (Bushin ja Mostellerin mallin käytöstä DPM:ssa on lukuisia esimerkkejä mm. teoksissa Rainio, 2006b, pp. 69-70, ja 2008.)

*Perusolettamus oppimisesta* tajuntajärjestelmässä on se, että *oppimismuutos tapahtuu*

a) *tiedostamattomassa* siten, että yrityksen suunnan valintaan vaikuttava tilavektori muuttuu (s.o. ”motivaatiotekijä” muuttuu), ja

b) *tietoisuudessa* siten, että siirtymiskohteen merkitys muuttuu; merkitykseen (ja siis muistissa olevaan mielikuvaan ao. tilasta) tulee se lisätekiä, että siirtyminen siihen tarkasteltavassa tilanteessa onnistuu (tai vastaavasti epäonnistuu).



Matemaattisesti oppimisvahvistuksen tuottama (Bushin ja Mostellerin operaattorimallin mukainen) muutos tilavektoriin voidaan toteuttaa yksinkertaisesti lisäämällä kenttien joukkoon oppimiskentän komponenttivektori  $\lambda$ , jonka muoto käy ilmi esimerkistä taulussa 2.2. (Esimerkki on muuten sama kuin taulussa 2.1.) Tässä vektorissa palkittava transitio- $p_{0,3} = 1$  ja muut 0:ia. Huomattakoon, että tämän vektorin potenssi =  $\alpha$  ja muut potenssit ovat säilyttäneet keskinäiset suuruussuhteensa.

Rankaisevan oppimisen tapauksessa oppimisvektorissa rangaistava transitio- $p = 0$  ja muu osa vektorista homogeeninen.

Taulu 2.2. *Oppimisen tuottama tilavektorin muutos.*

Kentät: F0 = DS: kaikki 5 tilaa; F1: tilat S1-S4; F2: tilat S3-S4; oppimiskenttä: S3

**A. Palkitseva oppimisvahvistus:**

Tilavektorin komponentit ja kenttien potenssit:

Kenttä	Tilat					Kenttien potenssit
	S0	S1	S2	S3	S4	
F0	.2	.2	.2	.2	.2	.03
F1	0	.25	.25	.25	.25	.12
F2	0	0	0	.5	.5	.15
$\lambda$	0	0	0	1	0	.7

Potensseilla painotettuina:

F0	.006	.006	.006	.006	.006
F1	0	.03	.03	.03	.03
F2	0	0	0	.075	.075
$\lambda$	0	0	0	.7	0

Painotetut summat:

$$.006 \ .036 \ .036 \ .811 \ .111 \quad \Sigma = 1$$

**B. Rankaiseva oppimisvahvistus:**

Tilavektorin komponentit ja kenttien potenssit:

Kenttä	Tilat					Kenttien potenssit
	S0	S1	S2	S3	S4	
F0	.2	.2	.2	.2	.2	.03
F1	0	.25	.25	.25	.25	.12
F2	0	0	0	.5	.5	.15
$\lambda$	.25	.25	.25	0	.25	.7

Potensseilla painotettuina:

F0	.006	.006	.006	.006	.006	.03
F1	0	.03	.03	.03	.03	.12
F2	0	0	0	.075	.0	.15
$\lambda$	.175	.175	.175	0	.175	.7

Painotetut summat:

$$.181 \ .211 \ .211 \ .111 \ .286 \quad \Sigma = 1$$

Tajuntaprosessimallissamme *oppimisvahvistuksen* ajatellaan olevan peräisin siis

a) joko prosessin ”sisällä” tietoisuudessa syntyvistä attraktiivisista tai repulsiivisista merkityskokemuksista

ja

b) joko päätöksentekoa seuraavan *toimintatuloksen* palkitsevaksi tai rankaisevaksi havaitsemisesta.

### 2.3. Aivojen ja tajunnan yhteys. Ecclesin teoria

Valtavirta aivojen tutkimuksessa etenee omia teitään nojaten klassiseen fysiikkaan. Neuropsykologiassa etsitään aivotoimintojen ja käyttäytymisen tai lähinnä introspektion tietä löydettyjen kognitiivisten tapahtumien välisiä *korrelaatioita*. Nämä korrelaatiot tulkitaan usein syy-yhteyksiksi, vaikka se sellaisenaan ei olekaan tieteessä oikeutettua. Lisäksi materialistinen lähtökohta pitää itsestään selvyytenä, että syy (ja ”selitys”) on aina aivotoiminnoissa.

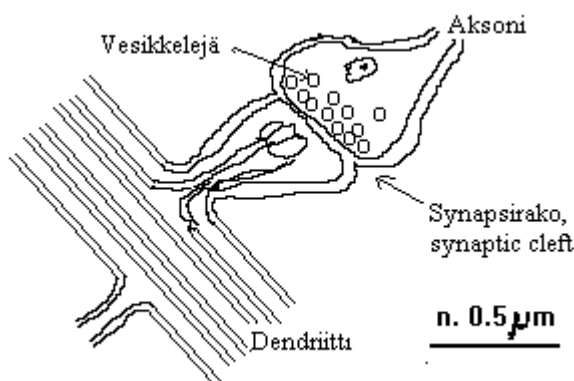
Kvanttifiysikoitten keskuudessa on noussut esiin kuitenkin myös uusi suuntaus (Quantum-Mind –tutkimus) , jonka piirissä tietoisuuden tapahtumien lähtökohta on kvanttiprosesseissa, tarkemmin sanoen ns. ”aaltofunktion romahtamisessa”. Oleellista on tällöin se, että tietoisuus toimii *indeterministisesti*. Teorianmuodostus on kuitenkin hypoteesien, jopa spekulatioiden, asteella, mikä on ymmärrettävää, koska kriittisten kokeitten keksiminen on tässä tutkimuksessa äärimmäisen vaikeaa.

Seuraavassa tarkastellaan John C. Ecclesin aivojen ja tajunnan välisen yhteyden *dualistisen interaktionalismin* viitekehykseen asettuvaa teoriaa, jota on ankarasti kritikoitu, mutta jolla on kuitenkin havainnollisuudessaan omat ansionsa (Eccles, 1994). --- Olen käsitellyt mainitun teorian matematisoimista yksityiskohtaisemmin useissa teoksissani (Rainio 2006, 2008, 2009a, 2011a ja 2011b). Tässä esitetään se tiivistettynä.

=====

Kuva 2.2 . Synapsin rakenne.

Synapsirako n. 200 Å eli 0.00002 mm.



=====

**Synapsi ja eksosytoosi:** Kuvassa 2.2 on esitetty kaaviopiirroksena hermosäikeiden *synaptinen liittymä* aivoissa. Siinä yhden neuronin aksoni kohtaa toisen neuronin dendriitin. Aksonin päätehaarat päättyvät laajentumaan, "nappiin" ("bouton"). Tämän ja dendriitin pullistuman väliin jää synapsiväli tai -rako, (cleft), joka erottaa ne toisistaan. Synapsiväli on suuruudeltaan noin 200 Å (= 0.00002 mm). Impulssit tulevat aksonia pitkin "nappiin", presynaptiseen osaan, ja - jos ylittävät raon - tuottavat *impulssin* postsynaptisessa osassa.

Synapsin ylimeno ei tapahdu niin, että itse impulssi, sähkökemiallinen "häiriö", jatkaisi matkaansa synapsiraon yli, vaan asia on mutkikkaampi. Ylimenoon vaikuttavat oleellisesti ns. vesikkelit (vesicles), pienempien "säiliöt" tai "pussit" tai "paketit", jotka sisältävät erityistä välittäjä- eli transmitteriainetta.

Vaikutus postsynaptiseen osaan tapahtuu siten, että *yksi* vesikkeli ylittää synapsiraon, purkaa transmitteriaine-molekyylit postsynaptiseen osaan ja aiheuttaa siinä kemiallisen muutoksen. Tätä tapahtumaa nimitetään *eksosytoosiksi* (exocytosis).

Eksosytoosissa, impulssin tullessa "nappiin", siis *enintään yksi* ja vain yksi vesikkeli voi erityisen laukaisumekanismin (trigger) vaikutuksesta ylittää synapsiraon. Voi olla, että yksikään ei ylitä. Ecclesin mukaan laukaisumekanismi toimii puhtaasti *todennäköisyysperiaatteen* mukaisesti. Erityisen tärkeä seikka on, että tuo ylitystodennäköisyys (yhtä impulssia kohti) on aivokuoren soluissa suhteellisen matala (0.3 - 0.4). Jos se olisi kaikkialla synapseissa 1, mitään tajunnan kaltaista ei Ecclesin mukaan lainkaan esiintyisi.

**Ecclesin ja F. Beckin teoria tietoisuuden ja aivojen interaktiosta:** Ecclesin perusoletus siis on, että *mentaaliset tilat vaikuttavat synapseissa vesikkelien ylimenojen todennäköisyyksiin*. – Ecclesin työtoveri, kvanttifysikko F. Beck osoitti laskelmillaan, että eksosytoosin laukaisuprosessi (trigger process for exocytosis) kuuluu kestoltaan sellaiseen suuruusluokkaan (femtosecond regime,  $10^{-15}$  sek.), että periaatteessa yksikin kvantti voi toimia laukaisijana (Eccles, s. 158).

Eccles ja Beck saattoivat nyt asettaa hypoteesin: *Minän tietoisuusaikomus (mental intention of the self) tulee neuraalisesti efektiiviseksi kohottamalla hetkellisesti eksosytoosin todennäköisyyttä koko dendronissa<sup>7</sup> ja tällä tavalla kykenee saamaan suuren joukon todennäköisyysamplitudeja tuottamaan yhtenäisen (coherent) toiminnan.* (Eccles, s. 146)

Eccles jatkaa: "Hypoteesimme tarjoaa luonnollisen selityksen tahdonalaisille (voluntary) liikkeille, joita tietoisuuden intentiot aiheuttavat - ilman että hypoteesi rikkoo fysiikan säilymislakeja. Kokeellisesti on osoitettu, että intentiot ja tarkkaavuus (attention) aktivoivat aivokuorta tietyillä hyvin määritellyillä alueilla ennen liikettä. ... On huomattava, että pitkäaikaisen oppimisen avulla minä voi suunnata intention toteuttaa tietty liike määrättyihin dendroneihin, jotka pystyvät tuottamaan vaadittavan toiminnan." (Eccles, s. 147)

---

<sup>7</sup> Dendron = "kimppu" dendrittejä eli yksittäisiä hermosäikeitä.

## 2.4. Ecclesin brain/mind -teorian matemaattinen malli:

Ecclesin perushypoteesin mukaan mentaalisen systeemin jokin tila muuttaa eksosytoosin eli hermoimpulssin synapsin ylityksen todennäköisyyttä. DPM:ssa on esitetty matemaattinen hypoteesi, että tämä todennäköisyyden muutos tapahtuu kahden vektorin, eksosytoosin todennäköisyysvektorin ja mentaalisen tilavektorin *interferenssin* vaikutuksesta. (Vektori-interferenssistä ks. Rainio – Malaska, 2011c).

Mallin havainnollistamiseksi riittänee tässä esimerkki mainitusta interferenssistä yhden synapsin osalta. Taulussa 2.3 on esitetty laskelma eksosytoosin todennäköisyyden lisääntymisestä .3:een, kun se lepotilassa on .2. Se tapahtuu tässä inversiovektorin laskemisen avulla (ks. Rainio – Malaska, 2011c, mutta laskutapa käy ilmi myös esimerkistä.)

=====

Taulu 2.3 . *Mentaalisen tilavektorin tuottama muutos eksosytoosin tilavektoriin*

Olkoon matriisi **A** synapsiraon ylityksen transiitodennäköisyys-matriisi lepotilassa ja **M** vastaava matriisi mentaalisen tilan vaikutettua siihen.

(non-Ex = eksosytoosia ei tapahdu, Ex = eksosytoosi tapahtuu.)

	<b>A</b>			<b>M</b>	
	non-Ex	Ex		non-Ex	Ex
non-Ex	(.8	.2)	non-Ex	(.7	.3)
Ex	(0	1)	Ex	(0	1)

Lasketaan tilavektorin (non-Ex –rivi) inversiovektori **A** modulo **M**:

(Inv' on normalisoimaton inversiovektori ja Inv normalisoitu)

$$\text{Inv}'(\mathbf{A}, \text{modulo } \mathbf{M}) = (.7/.8, .3/.2) = (.875, 1.5) \quad \sum = 2.375$$

$$\text{Inv}(\mathbf{A}, \text{modulo } \mathbf{M}) = (.875/2.375, 1.5/2.375) = (.368, .632) \quad \sum = 1$$

Määritelmänsä mukaisesti  $\text{Inv}(\mathbf{A}, \text{modulo } \mathbf{M})$  tuottaa interferenssissä **A**n kanssa **M**:n:

$$\text{Interf}^2(\mathbf{A}, \text{Inv}(\mathbf{A}, \text{modulo } \mathbf{M})) = (.8 \times .368, .2 \times .632) = (.294, .126) \quad \sum = .42$$

$$\text{Interf}(\mathbf{A}, \text{Inv}(\mathbf{A}, \text{modulo } \mathbf{M})) = (.294/.42, .126/.42) = (.7, .3) \quad \sum = 1$$

Esimerkki on osoittanut, että *se mentaalisen systeemin vektori, joka muuttaa interferenssissä eksosytoosin tilavektorin A tilavektoriksi M, on A:n inversiovektori modulo M.*

=====

Jos ajatellaan niin, että mentaalisen tilan interferenssivaikutus muuttaa pysyvästi eksosytoosi-todennäköisyyden, tarvitaan uusi interferenssi palauttamaan se *lepotilaan* (esimerkissämme vektoriksi (.8, .2)). Tämä tapahtuu laskemalla  $\text{Inv}(\mathbf{M}, \text{modulo } \mathbf{A})$ , joka on (.63, .37), ja sen jälkeen tuottamalla eksosytoosin tilavektorin **M** muutoksen, palautuksen, **A**:ksi interferenssillä  $\text{Interf}(\mathbf{M}, \text{Inv}(\mathbf{M}, \text{modulo } \mathbf{A}))$ , joka esimerkissä on normalisoituna (.441/.552, .111/.552) eli (.8, .2).

*Binding-probleema*: Mentaalisten tilojen on otaksuttava vaikuttavan samanaikaisesti erittäin moniin synapseihin, miljooniin, jopa miljardeihin. DPM:n mukainen matematisointi on silloinkin mahdollista ja binding-probleema ratkaistavissa, mutta se edellyttää uuden, *osittaisen vektori-interferenssin* käsitteen määrittämisen ja käyttöönoton. (Tämä on esitetty artikkelissa Rainio & Malaska, 2011c, ja sen soveltamista on tarkasteltu artikkeleissa Rainio, 2009a ja 2011a, mutta se sivuutetaan tässä.)

Oma mielenkiintonsa on *eksosytoosin puoliintumisajan* määrytymisen tarkastelussa Ecclesin kuvauksen perusteella (Eccles, 1994, pp. 159-163, erityisesti Fig. 9.5, p. 161). Sillä voi olla merkitystä kokeellisessa tutkimuksessa.

Taulussa 2.3 esitettyjen tilavektoreitten **A** ja **M** mukaisesti voidaan laskea kummassakin tapauksessa kumulatiiviset todennäköisyydet eksosytoosin esiintymiselle ja siten päätellä sen *puoliintumisaika* toisaalta lepotilassa, toisaalta mentaalisen tilan (attention) vaikuttaessa.

Eksosytoosin ”laukeamisen” kumulatiiviset todennäköisyydet:

Aika:	t0	t1	t2	t3	t4
Lepotila	0	.2	.36	<b>.49</b>	.59
Attention	0	.3	<b>.51</b>	.65	.76

Lepotilassa 3:n aika-askelen kuluttua saatu kumulatiivinen p-arvo .49 on niin lähellä arvoa .5, että puoliintumisaika on likiarvona 3 aika-askelta (eli väli t0-t3). Samoin attention-tilassa .51 on likiarvoltaan .5, joten siinä puoliintumisaika on 2 aika-askelta (väli t0-t2).

Mutta mikä on aika-askelen pituus reaaliajassa? – Ecclesin kuviosta 9.5 (Eccles, 1994) voidaan laskea, että lepotilassa tapahtuu noin 5 eksosytoosia sekunnissa, attention-tilassa 8. Voimme käyttää yksinkertaista ”hakuammuntaa” aika-askelen pituuden päättelyyn:

Jos oletamme, että aika-askel on .064 sek., saamme tulokseksi, että lepotilassa puoliintumisaika on .192 sek. ja sekunnissa tapahtuu siis noin 5.2 eksosytoosia (Eccles: 5). Attention-tilassa puoliintumisaika on .128 sek. ja sekunnissa eksosytoosien määrä on noin 7.6 (Ecclesin mukaan noin 8). Siis .064 sek. on varsin hyvä *aika-askelen estimaatti* tässä Ecclesin kuvaamassa tapauksessa.

## 2.5. Havaitsemisen stokastinen teoria<sup>8</sup>

Ecclesin analyysi (Eccles, 1994) kohdistuu miltei yksinomaan motoriikan tuottamiseen, jossa vaikutusyhteys on suhteellisen yksinkertaista: mentaalista systeemistä laukaisu- eli trigger-systeemiin. Sen sijaan vähemmälle tarkastelulle jäävät häneltä *sensoriset prosessit*, se dendronien ja mentaalisten systeemien välinen interaktio, jossa *ärsykeimpulssit* ovat lähtökohtana. Hän antaa tästä vain joitakin aivofysiologisia vihjeitä, joille seuraava esitys osittain perustuu.

Havainnon synty alimmalla mentaalisella tasolla vaatii kaksi asiaa:

1) Vastaanottavien aivoalueiden *aktivoituminen* (synapsien ylimeno-todennäköisyyksien lisäys ao. aivoalueilla) eli *tarkkaavuus* (attention) ja

<sup>8</sup> Diskreetin prosessimallin soveltamisesta havaitsemisprosessiin on esitys artikkelissani ”Aivojen ja tajunnan vuorovaikutuksesta sekä havaitsemisprosessista diskreetin kvanttimekaniikan valossa” (Rainio, 2011b) ja englanniksi artikkelissa ”The Mind/Brain Problem and Perception in Terms of Discrete Quantum Mechanics” (Rainio, 2011a).

2) synapsinylitysten (eksosytoosien) suhteellista määrää koskevan informaation keräytyminen mentaaliseen systeemiin.

Kumpikin näistä voi tapahtua vain interferenssien välittämänä.

Ylemmällä mentaalisella tasolla tapahtuu tämän jälkeen havaintoaineksen tulkinta jäsentämällä sitä kokemuksen luomien mallien avulla.

**Tarkkaavuus (attention):** Ecclesin mukaan tarkkaavuus merkitsee subjektin tuottamaa laajojen aivoalueiden aktivoimista. Hän kirjoittaa:

“... tarkkaavuus aiheuttaa neuraalista aktiivisuutta aivojen laajoilla alueilla, kuten rCBF-tekniikka paljastaa.”<sup>9</sup> Edelleen: ”... minä kykenee aktivoimaan tarkkaavuudella mitä tahansa määrättyjä kohtia neocorteksista tahdonvaraisesti.”<sup>10</sup>

DPM:n viitekehyksessä se, että ”tarkkaavuus aiheuttaa neuraalista aktiivisuutta aivojen laajoilla alueilla”, on tulkittavissa niin, että tarkkaavuuden herätessä subjekti tuottaa autonomisesti (”at will”) mentaalisen systeemin, joka interferoi synapsivektoreitten kanssa suhteellisen laajalla *kohdealueella*, jopa koko aivojen alueella.

Kun Eccles kirjoittaa: ”a self is able to activate”, hän ilmaisee selvästi olettavansa ei-fysikaalisen (mentaalisen) systeemin, joka aktivaation aiheuttaa. Tässä siis *kohtaamme sen ”rajapinnan”, jossa prosessin ohjaus tulee ei-fysikaalisesta lähteestä* eikä ole redusoitavissa fysiikkaan (aivotapahtumiseen).

Mikäli nyt jollakin aivoalueella esiintyy tarkkaavuuden herätessä ärsykeimpulsseja, tarkkaavuuden tuottama mentaalinen aktiivisuuden lisäys – kohottaessaan näillä alueilla synapsinylitysten todennäköisyys-arvoja – vaikuttaa niin, että impulssit ”pääsevät virtaamaan” näissä synapseissa tiheämmin. Mikäli ärsykeimpulsseja ei esiinny, vaan sen sijaan jää vallitsemaan lepotila, ”impulssivirta” (eksosytoosien määrä aikajaksossa) ei pääse kasvamaan.

Jos pidämme tarkkaavuutta autonomisena mentaalisen prosessin, on luonnollista ajatella, että ne dendronit (synapsiryhmät), joissa aktiivisuuden kasvua ei esiinny, jäävät tarkkaavuuden kohdealueen ulkopuolelle. (Tarkkaavuuden intensiteetin kohotessa kohdealue voi näin pienenemistään pienetä.)

**Havaitsemisprosessin perusongelma:** Mutta nyt kohtaamme vaikean ongelman, (jota Eccles tarkastelee liian ylimalkaisesti): Miten on mahdollista kuvata *fyysisen rakenteen sisältämän informaation siirtyminen mentaaliseen rakenteeseen*? Havaitsemisprosessin yhteydessä edellinen tarkoittaa eksosytoosien lukumäärää aikayksikössä ja jälkimmäinen eksosytoosien toteutumisen todennäköisyyttä.

Ecclesin analyysi kohdistuu miltei yksinomaan motoriikan tuottamiseen – sensoristen prosessien jäädessä vähemmälle tarkastelulle. Hän ei esitä yhtä yksityiskohdaisesti sitä dendronien ja mentaalisten systeemien välistä interaktiota, jossa ärsykeimpulssit ovat lähtökohtana. Eccles kylläkin lupaa teoksensa sivulla 89 esittää

---

<sup>9</sup> ”... attention causes neural activity in rather large areas of the brain, as is revealed by the rCBF technique (regional cerebral flood flow) (Roland 1981).” (p. 99)

<sup>10</sup> “... a self is able by attention to activate any selected parts of the neocortex at will.” (p. 174)

ratkaisun havaitsemisen perusongelmaan: "... tulemme kehittämään havainnon teorian dendroni-aktiiviteetista psykoni-kokemukseen – senkin kvanttimekaniikan pohjalta." <sup>11</sup>

Tämän lupauksensa Eccles toteuttaa kuitenkin ylimalkaisesti, vain parilla sivulla luvussa "6.9. How Neuronal Activity in the Sensory Systems Could Evoke Conscious Perceptions" (pp. 108-109). Hän kirjoittaa mm.: "Neocorteksin responsi tarkkaavuuteen on sellaisen transaktion esiaste, jossa dendronit on aktivoitu havaintoprosessissa tuottamaan havainnon piiriin kuuluvia mentaalisia tapahtumia. Esimerkiksi voidaan kysyä: kuinka kosketusaisti-systeemin dendronit voivat tuottaa joitakin spesifisiä kosketusaisti-havaintoja?" <sup>12</sup>

Eccles siis ajattelee, että havaintoprosessin aktivoimat dendronit jollakin välittömällä tavalla "tuottaisivat" ("nostaisivat esiin", give rise) mentaalisia tapahtumia. Miten aineellinen (impulssit) voisi noin vain tuottaa mentaalista? Toisin kuin motorisen toiminnan neuraalisen synnyn kuvauksessa tässä joutuu turhaan odottamaan Ecclesiltä selvää, yksityiskohtaista kuvausta. (Myöskään *palautetta*, feedback, motorisen reaktion yhteydessä hän ei käsittele.)

Eccles kirjoittaa vain jotakin hyvin yleistä eksosytoosien lisääntymisen psykoneille tuottamasta "onnistumisen" informaatiosta. <sup>13</sup>

Miten psykoni saa informaation vesikkelien lukumäärän lisäyksestä dendronissa ("psychon is presented with an increase in its dendron of vesicles") ?

Avainsana tuntuu olevan "success", mutta mitä se tarkoittaa? Eccles mainitsee siitä, miten aina, kun psykoni valitsee onnistuneesti vesikkelin eksosytoosia varten, psykoni rekisteröityy "mikro-onnistuminen" välittyäkseen läpi mentaalisen maailman. <sup>14</sup> Tämä on hämärä ja varsin epäeksakti kuvaus oleellisen tärkeästä asiasta. On kylläkin aavistettavissa, että Eccles on huomannut tässä tietyn lisähypoteesin tarpeen. Tuota hypoteesia hän ei kuitenkaan esitä.

Itse asiassa Ecclesin teoria kaipaa täydennystä myöskin siihen kysymykseen, miten dendronien ja "psykonien" paluu *lepotilaan* (esim. tarkkaavuusprosessin päättyessä) on kuvattavissa ja selitettävissä. (Seuraavasta tarkastelusta huomataan, että tämä liittyy yhteen havaintoprosessin kesto-ongelman kanssa.)

---

<sup>11</sup> "... there will be developed a theory of perception from dendron activity to psychon experience, also on the basis of quantum mechanics." (p. 89)

<sup>12</sup> "The response of the neocortex to attention is preparatory to the transaction whereby dendrons are activated in the perceptual process to produce the perceptual mental events. For example, it can be asked: how can activated dendrons of the tactual system give rise to some specific tactual perception?" (p. 108)

<sup>13</sup> "... psychon is presented with an increase in its dendron of vesicles available for exocytosis ... . The hypothesis is that each such exocytosis is a 'success' for the psychon, which gives a signal that is transmitted into the mental world." (p. 108)

<sup>14</sup> "... every time a psychon successively selects a vesicle for exocytosis (in accord with the quantal probability field) the 'micro-success' is registered in the psychon for transmission through the mental world." (p. 109)

Yrittämäärttä rakentaa realistista fysiologista mallia voimme kokeilla matemaattisella mallilla, joka mahdollisesti toteuttaisi Ecclesin ajatuksen, että toteutunut eksosytoosi merkitsisi psykonille ”onnistumista” (“... each such exocytosis is a ‘success’ for the psychon”). Tulkitsemme tämän vihjeeksi *oppimismallin* käyttökelpoisuudesta.

**Eksosytoosin ”onnistuminen” ja tarkkaavuussysteemi:** Kuvataan synapsin trigger-systeemin ja sitä vastaavan mentaalisen attention-systeemin transiitiodennäköisyydet tilavektoreilla **T** ja **A**. Edellinen kuvaa *lepotilaa* ja jälkimmäinen tilaa tarkkaavuuden aktivoivan vaikutuksen ollessa maksimissaan.

<b>T</b>		<b>A</b>	
non-Ex	Ex	non-Ex'	Ex'
non-Ex	.8 .2	non-Ex'	.4 .6

Oletetaan, että jokainen toteutunut eksosytoosi merkitsee *tarkkaavuussysteemin ”kokemaa”* Succ-tapahtumaa, joka toimii sen *kohdealueella* palkitsevana oppimisvahvistuksena transiitille non-Ex→Ex eli  $p_{\text{non-Ex,Ex}}$ . Tämä merkitsee sitä, että kohdealueella jokaisen eksosytoosi-”yrityksen” yhteydessä tapahtuva tilavektorin mukainen ”arpominen” lisääsi tietyssä määrin eksosytoosin todennäköisyyttä tässä trigger-systeemissä. Vastaavasti eksosytoosin toteutumatta jääminen kohdealueella vähentäisi tätä todennäköisyyttä. (Kohdealueen ulkopuolella sen sijaan ei esiinny muutoksia.)

Oppimismuutosten voidaan olettaa noudattavan Bushin ja Mostellerin kahden operaattorin mallia seuraavasti:

$$\text{Succ: } p_{t+1} = p_t + \alpha(\lambda_{\text{Succ}} - p_t) \text{ ja non-Succ: } p_{t+1} = p_t + \beta(\lambda_{\text{non-Succ}} - p_t),$$

jossa  $p_t$  on  $p_{\text{non-Ex,Ex}}$  hetkenä  $t$  ja  $p_{t+1}$  sama hetkenä  $t+1$ , alfa ja beta oppimiskertoimia,  $0 \leq \alpha \leq 1$  ja  $0 \leq \beta \leq 1$  (esimerkissämme  $\alpha = \beta = .4$ ) sekä  $\lambda_{\text{Succ}}$  ja  $\lambda_{\text{non-Succ}}$  oppimisen ylä- ja alarajat (tässä .6 ja .2).

=====  
Taulu 2.4 *Ärsykeimpulssit tarkkaavuuden kohdealueella ja sen ulkopuolella*

	Ärsykeimpulssit lisääntyneet; synapsi tarkkaavuuden kohdealueella:	Lepotila; synapsi tarkkaavuuden kohdealueella:	Lepotila; kohdealueen ulkopuolella:
Tilavektori:	Tilat	Tilat	Tilat
	non-Ex    Ex	non-Ex    Ex	non-Ex    Ex
<b>p0</b>	(.8    .2)	(.8    .2)	(.8    .2)
Imp/ $\Delta t$	5	1	1
Succ-odotusarvo	1.0	.2	.2
<b>p1</b>	(.64    .36)(succ)	(.8    .2)	(.8    .2)
<b>p2</b>	(.54    .46)(succ)	(.8    .2)	-”-
<b>p3</b>	(.48    .52)(succ)	(.8    .2)	jne.
<b>p4</b>	(.45    .55)(succ)	(.64    .36)(succ)	
<b>p5</b>	(.43    .57)(succ)	(.68    .32)(non-succ)	

=====



Kussakin synapsissa kohdealueella trigger-systeemin tilavektorin muutokset tulevat riippumaan siitä, *missä määrin impulsseja afferentteja yhteyksiä pitkin ohjautuu kuhunkin synapsiin*. Taulussa 2.4 on tästä numeerinen esimerkki.

Huomattakoon, että muutokset vektorista seuraavaan voidaan selittää myös *interferensseiksi* seuraavasti, taulussa 2.4 esimerkiksi vektorista **p0** vektoriksi **p1**:

On olemassa sellainen vektori, joka interferenssissä tilavektori **p0**:n kanssa tuottaa vektorin **p1**. Se on inversiovektori **Inv(p0 modulo p1)** ja voidaan laskea seuraavasti (Rainio-Malaska, 2011c):

$$\begin{array}{l} \mathbf{p1}: \quad (.64 \ .36) \\ \mathbf{p0} \quad (.8 \ .2) \\ \text{Inv}^*(\mathbf{p0} \text{ mod } \mathbf{p1}): \quad (.64/.8 \quad .36/.2) = (.8 \ 1.8) \quad \Sigma = 2.6 \end{array}$$

Normalisoituna:

$$\mathbf{Inv}(\mathbf{p0} \text{ mod } \mathbf{p1}): \quad (.31 \quad .69)$$

On osoitettu, että inversiovektorin määritelmän mukaan (Rainio-Malaska, 2011c)

**Interf(p0, Inv(p0 mod p1)) = p1**, joten on löydetty se vektori (tässä .31, .69), jonka interferenssi **p0**:n kanssa *tuottaa palkitsevan oppimismuutoksen*.

Lepotilassa pysyminen voidaan nähdä epäonnistumisen tuottamana rankaisevana oppimisena, kuten laskelma osoittaa. Kun  $\lambda = .2$  ja  $p_t = .2$ , niin  $p_{t+1} = p_t + \beta (\lambda - p_t) = .2 + \beta (.2 - .2) = .2$ .

Edellä esitetty matemaattinen tulkinta trigger-systeemien tilavektorien ”oppimisluontoisista” muutoksista *tarkkaavuus*-systeemin ”kokemien” ”onnistumisten” seuraamuksina näyttäisi Ecclesin ”success”-hypoteesin luontevalta täsmennykseltä.

”Onnistumisesta” ei voi puhua juuri muuten kuin olettamalla (alimman tason eli tarkkaavuustason) mentaalinen, tajunnallinen systeemi, jossa onnistuminen esiintyy tiettyyn tilaan liittyvänä (diffuusina) kokemuksena. Tätä mentaalista systeemiä nimitämme *havaintoaines-systeemiksi*.

Kun Eccles puhuu mentaalisen ”psykonin”-systeemin vaikutuksesta trigger-systeemeihin, hän ei esitä mitään hypoteeseja siitä, *missä määrin* mentaalinen systeemi vaikuttaa, eikä myöskään siitä, *millä nopeudella* se vaikuttaa. Jälkimmäinen näyttää kuitenkin hyvin oleelliselta seikalta havaitsemistapahtuman yhteydessä. Edellä on esitetty malli, jossa vaikutus on *vähittäinen* (yritys yritykseltä, askelittain etenevä), niin kuin tuntuu luonnolliselta.

Kun aikaisemmin olen esittänyt mallia, jossa mentaalinen systeemi tuottaa interferenssissä trigger-systeemin kanssa *yhdellä kerralla* koko muutoksen, kysymyksessä on matemaattisesti se oppimisen erikoistapaus, jossa oppimiskerroin  $\alpha = 1$ . Nyt esitetty malli on siis yleisempi.

Aikaisemmin (Rainio, 2006, 2008 ja 2009a) olen esittänyt myös ns. *osittaisinterferenssin* mallia (ks. myös Rainio-Malaska, 2011c), jossa mentaalinen tilavektori on yhtenäinen ja ulottuu kaikkiin synapseihin, mutta trigger-vektorit käsittävät vain kaksi tilaa (non-Ex ja Ex). Nyt huomataan, että tämä esitystapa ei ole välttämätön. Voidaan rakentaa myös kaikkia synapseja esittävä trigger-vektori ja tarkastella sen tavallista vektori-interferenssiä mentaalisen ”psykonin”-vektorin kanssa. Tarvitsee vain kertoa jokainen p-arvo koefficientilla  $1/s$ , jossa s on tarkasteltavien synapsien lukumäärä. Interferenssilasku muodostuu tällöin seuraavanlaiseksi:

	Tilavektori:			
Mentaalinen syst.:	$(1/s)p_1$ ,	$(1/s)(1-p_1)$ ,	$(1/s)p_2$ ,	$(1/s)(1-p_2)$ , jne.
Trigger-syst.:	$(1/s)q_1$ ,	$(1/s)(1-q_1)$ ,	$(1/s)q_2$ ,	$(1/s)(1-q_2)$ , jne.
Paritulot:	$(1/s^2)p_1q_1$	$(1/s^2)(1-p_1)(1-q_1)$	$(1/s^2)p_2q_2$	$(1/s^2)(1-p_2)(1-q_2)$ . jne.
	$\Sigma: (1/s^2) \sum_{i=1}^s p_i q_i$			

Normeeratut:  $p_1 q_1 / \sum p_i q_i$   $(1-p_1)(1-q_1) / \sum p_i q_i$  ...

Sekä mentaalinen systeemi että trigger-systeemi edellä tehdyssä tarkastelussa ovat esitetyt *tilavektorinsa* avulla. Onko siis kysymyksessä superposition kuvaus, ts. edustavatko p:t *transitiotodennäköisyyksiä* tilasta 1 kaikkiin muihin tiloihin (joita on 2s kpl, 2 kutakin synapsia kohti). – Näin on ajateltava, jotta tarkoitettu binding-probleeman ratkaisu tulisi kuvatuksi. Oleellista on nimittäin tässä tarkastelussa se, että prosessin jokainen muutos on *kokonaisuuden* muutos.

Täydellisyyden vuoksi olisi ollut esitettävä koko transitiotodennäköisyyksien *matriisi*, joka säätelee koko systeemin siirtymistä elementtitilasta toiseen kullakin aika-askeleella. Aivojen synapsien (jopa dendronienkin) lukumäärä (s) on kuitenkin hyvin suuri luku, noin 40 miljoonaa dendronia koko korteksissa.<sup>15</sup>

Matriisin koko olisi siis 2s x 2s eli  $(8 \times 10^7) \times (8 \times 10^7)$ . Teoreettisessa tarkastelussa tämä ei haittaa, sillä aika-askel  $\Delta t$ , jossa 1 siirtymä tapahtuu ("luonto arpoo tapahtuvaksi"), voidaan olettaa esim. 10 nanosekunniksi ( $10^{-10}$  sek.), jolloin 1/100 sekunnissa tapahtuisi kvanttievoluutio, jossa "hyppyjä" olisi noin 1 jokaista tilaelementtiä kohti. Tätä suuruusluokkaa olevana aikana tarkkaavuusprosessi siis ennättäisi käydä läpi korteksin kaikki dendronit. Sitä ei suinkaan voi pitää täysin mahdottomana.

Binding-probleeman ratkaisu näyttää siis olevan siinä, että kuvataan aivojen eksosytooseihin vaikuttavaa systeemiä kaikki triggerit käsittävällä kvanttimekaanisella tilavektorilla. Muutos tällaisen tilavektorin yhdessä elementissä – esim. interferenssin tuottama – tapahtuu silloin aina *samanaikaisesti* (instantaneously) kaikissa elementeissä (koska Markov-vektorin summan tulee olla 0 ja sen vuoksi tehtävä normeeraus muuttaa kaikkia elementtejä).

Filosofisesti mielenkiintoista on todeta, että tässäkin kuvauksessa ei mentaalinen systeemi millään tavalla "häviä" interferenssin johdosta tilanteessa, jossa kaikki trigger-systeemin eksosytoosi-todennäköisyydet  $1-q_i$  ovat 0:ia ja siis tämä aivotoiminta loppunut eli on tapahtunut kuolemaksi nimetty merkittävä prosessien muutos. Mentaalisen systeemin tilavektoriksi jää:  $p_1/s$ ,  $p_2/s$ ,  $p_3/s$ , jne. (Vrt. Rainio, 2008, ss. 131-135.)

***Tarkkaavuus-systeemin kohdealueen valinta ja muutokset:*** Eccles välttää puhetta mentaalisen kentän luonteesta, rakenteesta ja sen dynamiikan yksityiskohdista – mikä varovaisuus onkin paikallaan tiedemiehen esittäessä radikaalisti uutta näkemystä. Niinpä hän vetoaa empiirisiin aivotutkimuksen tuloksiin kuvatessaan tarkkaavuuden aktivoivaa vaikutusta esimerkiksi aivojen motorisilla alueilla ja lähtee liikkeelle tilanteesta, jossa tarkkaavuus on jo syntynyt ja vaikuttanut. Mutta mistä se on syntynyt ja mistä sen kohdealue on määrätynyt, sitä Eccles ei käsittele. Häneltä jää näin ollen tarkastelun ulkopuolelle motoriikan palaute- eli feedback-ilmio. Siinä selvästikin havainnon kautta saatu informaatio ohjaa prosessia *askelittaiseen* edistymiseen, ts. aivojen aktivoinnin jatkuviin *tarkennuksiin*.

<sup>15</sup> "...about 40 million dendrons for the whole cortex." (Eccles 1994, p. 98.)

On vielä selvitettävä (III artikkelissa), miten ”havaintoaineksesta” tullaan varsinaisiin, jäsenyntyneisiin havaintoihin. Liikomme siis tässä edelleen fyysisten prosessien ja puhtaasti tajunnallisten prosessien ”rajapinnalla” analysoidessamme mentaalisen ja fyysisen ”kohtaamista”. – Lopuksi on yritettävä luoda kuvaa puhtaasti tajunnallisten prosessien keskinäisestä vuorovaikutuksesta ja niiden mahdollisesta hierarkiasta, vaikka joudummekin silloin liikkumaan jotakuinkin pelkän spekulatiivisuuden perustalla – ja se on horjuva, kuten arvataan.

## **Kirjallisuutta:**

- Bush, R.R. and Mosteller, F. (1955): Stochastic Models for Learning. New York, Wiley.
- Eccles (1994): How the Self Controls Its Brain. Springer Verlag.
- Gudder, Stanley (1986): Discrete Quantum Mechanics, J. Math. Physics, 27, 1782 (1986)
- Lewin, Kurt (1938): The Conceptual Representation and the Measurement of Psychological Forces. Contributions to Psychological Theory. Duke University Press. Durham, N.C., USA.
- Rainio, Kullervo (1972): Group Maze: Experiments and Simulations in Problem-Solving by Groups. Commentationes Scientiarum Socialium , 3, Helsinki: Societas Scientiarum Fennica.
- Rainio, Kullervo (2006): Diskreetti prosessimalli kvantti- ja tajuntasysteemeihin sovellettuna. Luonnonfilosofian Seuran julkaisu, XV.
- 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 (2009a): Discrete process model for quantum systems of matter and mind. World Futures 2009.
- Rainio, Kullervo (2011a): The Mind/Brain Problem and Perception in Terms of Discrete Quantum Mechanics. International Journal of Psychological Studies, Vol. 3, n:o 2, pp. 87-106, 2011. <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/ijps/article/view/13337/9204> (pdf)
- Rainio, Kullervo (2011b): Aivojen ja tajunnan vuorovaikutuksesta sekä havaitsemisprosessista diskreetin kvanttimekaniikan valossa. LFS:n verkkojulkaisu. [http://www.protsv.fi/lfs/verkko/Rainio\\_2010.rtf](http://www.protsv.fi/lfs/verkko/Rainio_2010.rtf)
- Rainio, Kullervo (2014): Tajunnan dynamiikka diskreettinä prosessina. LFS:n verkkojulkaisu. [http://www.protsv.fi/lfs/verkko/2014\\_Rainio.pdf](http://www.protsv.fi/lfs/verkko/2014_Rainio.pdf)
- Rainio, Kullervo – Malaska, Pentti (2011c): Vektori-interferenssi diskreetissä kvanttimekaniikassa. LFS:n verkkojulkaisu. [www.protsv.fi/lfs/verkko/rainio/Vektori-interferenssi-1-2-11.pdf](http://www.protsv.fi/lfs/verkko/rainio/Vektori-interferenssi-1-2-11.pdf)