

UNIVERZITET U BEOGRADU
FILOZOFSKI FAKULTET

Dušan M. Simić

NEUROBIOLOŠKO OBJAŠNJENJE SVESTI

Doktorska disertacija

Beograd, 2020.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF PHILOSOPHY

Dušan M. Simić

**NEUROBIOLOGICAL EXPLANATION OF
CONSCIOUSNESS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020.

Mentor

dr Ljiljana Radenović, vanredni profesor
Filozofski fakultet Univerziteta u Beogradu

Članovi komisije

dr Slobodan Perović, vanredni profesor
Filozofski fakultet Univerziteta u Beogradu

dr Biljana Stojković, redovni profesor
Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu

dr Aleksandra Zorić, docent
Filozofski fakultet Univerziteta u Beogradu

Datum odbrane: _____

Izjave zahvalnosti

Mentoru, prof. dr Ljiljani Radenović, zahvaljujem se na posvećenom vremenu, strpljenju i stručnim savetima bez kojih ova disertacije ne bi bila moguća.

dr Miljani Milojević zahvaljujem se na dragocenim komentarima i korisnim sugestijama koji su mi pomogli u finalnoj izradi ove disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem i dr Mašanu Bogdanovskom za stručnu pomoć i prijateljsku podršku u pisanju ove disertacije.

Na kraju, ovu disertaciju želim da posvetim svojoj majci Višnji, sestri Ružici, Emiliji i drugim prijateljima koji su bili uz mene sve ove godine. Najiskrenije im se zahvaljujem na bezuslovnoj podršci.

NEUROBIOLOŠKO OBJAŠNJENJE SVESTI

Rezime

Glavni cilj ovog rada jeste formulisanje modela svesti koji bi uspeo da prevaziđe prigovore i probleme sa kojim su se suočavali svi dosadašnji neurobiološki modeli. Najveći izazov je odgovor na pitanje kako je moguće da neki materijalni sistem, poput mozga, proizvede subjektivno iskustvo. Kao što ću pokazati, odgovor se nalazi u načinu na koji je mozak organizovan i njegovoj sposobnosti da proizvede posebnu vrstu kauzalnih interakcija (neprekidnu kauzalnu samoreferencu). Model svesti koji predlažem se oslanja na dinamičke modele prema kojima je svest globalno sistemsko svojstvo.

Prema hipotezi neprekidne kauzalne samoreference koju ću zastupati, organizacija ima nesvodivu ulogu u stvaranju novih svojstava. Svest se ne može u potpunosti objasniti svođenjem na osnovne materijalne konstituente, već je ona suštinski relaciono svojstvo tih konstituenata. Objasnjenje svesti ne možemo naći u pojedinačnim gradivnim jedinicama mozga, neuronima, već u načinu na koji su oni organizovani. Istraživanja (*Bressler and Kelso, 2016*) (*Tognoli and Kelso, 2014*) (*Kelso, 2012*) pokazuju da postoje svojstva koja se nalaze na nivou celog sistema, koja proizilaze iz relacija među konstituentima a koja se ne mogu pronaći na nivou bazičnih konstituenata. Svest je dinamički proces, neprekidno menjajuća struktura kauzalnih relacija među konstituentima sistema.

U skladu sa tim pokušaću da pokažem da se svest kao svojstvo pojavljuje u slučajevima kada materija i relacije između njenih elemenata imaju posebnu kauzalnu konfiguraciju. Kao glavnu teorijsku i empirijsku podršku toj hipotezi korišću modele i eksperimentalnu evidenciju različitih autora koji zastupaju dinamičke teorije svesti poput Tononija, Edelmana, Spornsa i drugih. Navedeni autori implicitno podržavaju ontologiju u kojoj relacije spadaju u osnovna primitivna svojstva stvarnosti. (*Sporns, Chialvo, Kaiser and Hilgetag, 2004*) (*Edelman and Tononi, 2000*) (*Olaf Sporns, 2010*) (*Tononi and Koch, 2015*).

U prvom poglavlju ću pokazati kakav je uticaj teorija dinamičkih sistema imala na druge nauke i koliko je uticala na promenu ontoloških pretpostavki. Ukazaću na važnost teorije dinamičkih sistema u argumentima u debati između redukcionizma i emergentizma. Kroz debatu između dva suprotstavljena stanovišta videćemo kako se fokus u razumevanju fizičkog sveta, pre svega funkcionisanja sistema, pomerio sa delova (mikro nivo) na celinu (makro nivo). U ovom

poglavljju ćemo kroz različite teorijske hipoteze i empirijske primere videti da je teorija dinamičkih sistema osnov za prihvatanje savremene forme emergentizma, koja je od suštinske važnosti za uspostavljanje i odbranu teze prema kojoj je svest emergentno svojstvo u dinamičkim sistemima.

Drugo poglavljje će fokus istraživanja staviti na teorijske okvire i osnovne pojmove teorije dinamičkih sistema. Pojmovi kojima raspolaže teorija dinamičkih sistema poput samoorganizujuće kritičnosti, metastabilnosti, tranzicije faza, emergencije, integracije i informacije su od suštinske važnosti za objašnjenje ponašanja kompleksnih sistema u koje spada i mozak. Kakva je empirijska primena ovih pojmova biće predstavljeno kroz analizu ponašanja gomile peska, zemljotresa, feromagnetnih materijala i kompjuterski model „*Game of Life*“. Navedeni primeri će imati poseban doprinos u odgovoru na pitanje kako jedan fizički sistem može da poseduje emergentno svojstvo koje prevazilazi ponašanje njegovih pojedinačnih elemenata. U ovom poglavljju načiniću i korak dalje pa ću pokazati koje su osobine mozga koje mu omogućavaju da proizvede emergentno svojstvo (svest). Kroz mnogobrojne primere iz kliničke prakse i simulacije pokazaću koliko je svesno iskustvo povezano sa sposobnošću sistema da integriše velike količine informacije. Kao što ćemo videti, sposobnost integracije velike količine informacije je posledica posebne arhitekture i funkcionalne dinamike mozga i upravo zahvaljujući njima mozak može da proizvede svesno iskustvo.

U trećem poglavljju predstaviću najvažnije modele svesti koje se oslanjaju na teoriju dinamičkih sistema. Prvo ćemo videti modele koje svoje hipoteze zasnivaju na procesu integracije informacije (teorija dinamičkog jezgra, teorija integrisane informacije). Nakon toga ćemo videti kako se kompleksna dinamika polja može dovesti u vezu sa svesnim iskustvom. U okviru teorije polja će biti prikazani i modeli koji koriste pojam informacije da bi objasnili svesno iskustvo, ali treba imati na umu da takvi modeli informaciju koriste u kontekstu teorije polja. Na kraju ovog poglavlja će biti predstavljena teza proširene svesti koja dovodi u pitanje prostorno vremenske okvire u kojima se realizuje svesno iskustvo.

U četvrtom poglavljju ću izložiti slabosti predloženih modela, pokazati njihovu nepotpunost i izložiti dodatne argumente kojima bi se otklonili problemi i dao potpuniji dinamički model svesti. Pokazaću da nijedan od navedenih dinamičkih modela svesti nije uzeo u obzir fundamentalnu osobinu fenomenalnog iskustva, usmerenost na samu sebe

(samoreferentnost). Izložiću svoju osnovnu hipotezu koju sam nazvao „neprekidna kauzalna samoreferenca“ a koja se zasniva na procesu cirkularne kauzalnosti. Prema modelu koji ja zastupam subjektivno iskustvo je proces u kome dolazi do balansa kauzalnog uticaja između *top down* kauzalnosti koju sprovode elektromagnetna polja unutar mozga i *bottom up* kauzalnosti koju sprovode pojedinačni neuroni kroz svoje pražnjenje. Pokazaću da je glavni mehanizam svesti cirkularna kauzalna petlja koja se ostvaruje u talamokortikalnom sistemu gde dolazi do uspostavljanja kauzalne samoreference. Na samom kraju ćemo kroz nekoliko empirijskih primera testirati predviđanja *HNKS* i pokazati da ona bolje od ostalih prikazanih modela odgovara na svakodnevno shvatanje pojma svesti.

Dakle, da bismo objasnili svest potrebno je da objasnimo kako je moguće da materijalni sistem proizvede fenomenalnu svest, egzistenciju doživljenu iz perspektive prvog lica. U pokušaju da odgovorim na ovo pitanje pošao sam od fenomenološke činjenice, da je svest uvek usmerena na samu sebe, da je subjektivno iskustvo uvek „zaključano“. Mi nikada ne možemo izaći van njega i pristupiti objektivnoj stvarnosti. Svesno iskustvo je uvek usmereno na sopstvene sadržaje. Pojam samoreferentnosti sam iskoristio za formulisanje hipoteze „neprekidne kauzalne samoreference“ koja nam pruža objašnjenje moždanih kauzalnih mehanizama koji stoje u osnovi svesti. Kako nijedan dinamički model do sada nije na zadovoljavajući način iskoristio tu činjenicu, smatram da predložena hipoteza predstavlja unapređenu verziju dosadašnjih dinamičkih modela.

Ključne reči: svest, filozofija duha, neurofilozofija, teorija dinamičkih sistema, emergentizam, integracija, informacija, cirkularna kauzalnost, neprekidna kauzalna samoreferenca

Naučna oblast: Filozofija

Uža naučna oblast: Filozofija duha

UDK broj: 13

NEUROBIOLOGICAL EXPLANATION OF CONSCIOUSNESS

Abstract

The main goal of this paper is to formulate a model of consciousness that would overcome the objections and problems faced by all neurobiological models to date. The biggest challenge is answering the question of how it is possible for a material system, such as the brain, to produce subjective experience. As I will show, the answer lies in the way the brain is organized and its ability to produce a special kind of causal interactions (continuous causal self-reference). The model of consciousness I propose relies on the dynamic models according to which consciousness is a global property of the system.

According to the hypothesis of continuous causal self-reference that I will present, organization plays an irreducible role in creating new properties. Consciousness cannot be fully explained by reduction to basic material constituents, but it is rather essentially a relational property of those constituents. We cannot find an explanation of consciousness in the individual building blocks of the brain, neurons. It is in the way they are organized. Research (*Bressler and Kelso, 2016*) (*Tognoli and Kelso, 2014*) (*Kelso, 2012*) shows that there are properties that can be found on the level of the system as a whole, that arise from relationships among constituents, but that cannot be found at the level of basic constituents. Consciousness is a dynamic process, a constantly changing structure of causal relations between the constituents of a system.

Accordingly, I will try to show that consciousness as a property occurs in cases where matter and the relations between its elements have a special causal configuration. As the main theoretical and empirical support for this hypothesis, I will use models and experimental record of various authors representing dynamic theories of consciousness such as Tononi, Edelman, Sporns and others. Listed authors implicitly support the ontology in which relations belong to the basic primitive properties of reality. (*Sporns, Chialvo, Kaiser and Hilgetag, 2004*) (*Edelman and Tononi, 2000*) (*Olaf Sporns, 2010*) (*Tononi and Koch, 2015*).

In the first chapter, I will show what impact the theory of dynamical systems has had on other sciences and how much it influenced the change in ontological assumptions. I will point out the importance of the theory of dynamic systems in the arguments from the debate between reductionism and emergentism. Through the debate between the two opposing viewpoints we will

see how the focus has shifted from the parts... to the whole... in the understanding of the physical world, above all of the functioning of the system. In this chapter, through various theoretical hypotheses and empirical examples, we will see that the theory of dynamical systems is the basis for adopting the contemporary form of emergentism, which is essential for establishing and defending the thesis that consciousness is an emergent property in dynamic systems.

The second chapter will focus on the research on theoretical frameworks and basic concepts of the dynamical systems theory. Concepts in the theory of dynamic systems such as self-organizing criticality, metastability, phase transition, emergence, integration and information are essential for explanation of the behavior of complex systems, including the brain. Empirical application of these terms will be presented through an analysis of the behavior of sand piles, earthquakes, ferromagnetic materials and the computer model of the “Game of Life“. The examples mentioned above will give a special contribution to answering the question of how a physical system can have an emergent property that goes beyond the behavior of its elements. In this chapter, I will make a step further and show what are the characteristics of the brain that enable it to produce an emergent property (consciousness). Through numerous examples from clinical practice and simulation, I will demonstrate how conscious experience is related to the ability of the system to integrate a large quantity of information. As we shall see, the ability to integrate a large quantity of information is a result of the unique architecture and functional dynamics of the brain and due precisely to them the brain can produce conscious experience.

In the third chapter, I will present the most important models of consciousness that rely on the theory of dynamical systems. We will first see the models that base their hypotheses on the process of information integration (Dynamic Core Theory, Integrated Information Theory). We will then see how complex field dynamics can be related to conscious experience. Within the field theory, models that take the notion of information to explain conscious experience, but which use information in the context of field theory, will also be shown. Field theory will also include models that use the notion of information to explain conscious experience, but we should have in mind that such models use information in the context of field theory. At the end of this chapter, the theses of extended consciousness that question the spatio-temporal boundaries in which conscious experience is realized will be presented.

In the fourth chapter, I will outline the weaknesses of the proposed models, demonstrate their incompleteness, and present additional arguments to solve the problems and provide a more complete dynamic model of consciousness. I will show that none of these dynamic models of consciousness have taken into account the fundamental feature of phenomenal experience, self-directedness (self-referentiality). I will present my basic hypothesis, which I have called "continuous causal self-reference", which is based on the process of circular causality. According to the model that I am presenting, subjective experience is a process in which there is a balance of causal influence between top-down causality carried out by electromagnetic fields inside of the brain and a bottom-up causality carried out by firing of the single neurons. I will show that the main mechanism of the consciousness is the circular causal loop which is realized inside of the thalamocortical system, where causal self-reference is established. At the very end, through several empirical examples, we will test the predictions of HCCS and show that it fits the everyday understanding of the notion of consciousness better than other models presented.

Hence, in order to explain consciousness, we need to explain how it is possible for the material system to produce phenomenal consciousness, existence experienced from a first-person perspective. In an attempt to answer this question, I started from the phenomenological fact that consciousness is always self-directed, that subjective experience is always "locked". We can never go beyond it and approach objective reality. A conscious experience is always focused on its own content. I used the term self-referentiality to formulate the hypothesis of "continuous causal self-reference" that provides us with an explanation of the brain's causal mechanisms underlying consciousness. As no dynamic model has satisfactorily exploited this fact, I believe that the proposed hypothesis represents an advanced version of the dynamic models so far.

Keywords: consciousness, philosophy of mind, neurophilosophy, theory of dynamic systems, emergentism, integration, information, circular causality, continuous causal self-reference

Scientific field: Philosophy

Scientific subfield: Philosophy of Mind

UDC number: 13

SADRŽAJ

Uvod	1
1. Značaj i uticaj teorije dinamičkih sistema	
Istorijski kontekst i njene implikacije u naukama.....	12
1.1. Teorija dinamičkih sistema kao argument u debati između redukcionizma i emergentizma.....	12
1.2. Može li se svest redukovati na osnovne elemente?.....	13
1.3. Redukcionizam i emergentizam kao heurističke strategije.....	15
1.4. Šta je verovatnije, redukcija ili emergencija?.....	16
1.5. Emergentizam i nova ontološka pretpostavka.....	20
1.6. Problem kombinacija.....	23
1.7. Kauzalna emergencija.....	23
2. Dinamički sistemi i problem svesti	27
2.1. Emergencija u dinamičkim sistemima.....	27
2.1.1. Samoorganizujuća kritičnost.....	27
2.1.2. Igra života.....	30
2.1.3. <i>Power law</i> distribucija kao pokazatelj kritičnosti.....	35
2.1.4. Emergentna svojstva i tranzicije faza.....	41
2.2. Mozak kao dinamički sistem.....	44
2.2.1. Arhitektura.....	44
2.2.2. Atraktori kao uzrok stabilnosti u neuronskom sistemu.....	49
2.2.3. Multistabilnost, metastabilnost, kvazi atraktori.....	52
2.2.4. Mozak i tranzicija faze.....	56
2.2.5. Zaključak.....	58
2.3. Veza svesti i integracije u kompleksnim dinamičkim sistemima.....	61
2.3.1. Integracija omogućava koherentnu jedinstvenu svest.....	62
2.3.2. Integracija kao smanjenje nezavisnosti elemenata sistema.....	63
2.3.3. Neuronska kompleksnost.....	66
2.3.4. Neuronska kompleksnost i prostor stanja.....	72
2.3.5. Uticaj okruženja na neuronsku kompleksnost (poklapanje kompleksnosti).....	74
2.3.6. Analiza procesa integracije putem simulacije vizuelnog sistema.....	76
2.3.7. Analiza integracije u slučajevima neuroloških poremećaja.....	79

2.3.8. Komunikacija putem koherencije: kako integracija doprinosi razmeni informacija?.....	85
2.3.9. Zaključak.....	88
3. Dinamički modeli svesti.....	90
3.1. Hipoteza dinamičkog jezgra.....	90
3.2. Teorija integrisane informacije.....	96
3.2.1. Aksiomi <i>TII</i>	100
3.2.2. Postulati <i>TII</i>	102
3.2.3. Koncepti i konceptualna struktura (kompleks).....	106
3.2.4. Sistemi sa određenom arhitekturom imaju veću šansu da budu svesni.....	109
3.2.5. Koja je uloga delova sistema koji nisu deo glavnog kompleksa?.....	111
3.2.6. Da li su svi kompleksni sistemi svesni?.....	112
3.2.7. Prostornovremenski okviri svesnog iskustva.....	114
3.2.8. Problemi i kritike teorije integrisane informacije.....	117
3.3. Teorije polja – svest kao polje.....	122
3.3.1. <i>HSMP</i> (Hipoteza Svesnog Mentalnog Polja).....	122
3.3.2. <i>SEMI</i> teorija polja (svesna elektromagnetna informacija).....	125
3.3.3. Svest kao posebna vrsta obrazaca elektromagnetnog polja.....	128
3.3.4. Teorija Integrisane Informacije Polja (<i>FIIT – Field Integrated Information Theory</i>).....	131
3.3.5. Teorije polja: zaključak i kritike.....	132
3.4. Proširena svest: svest kao spoj okruženja, tela, i mozga.....	135
3.4.1. Kritika okvira kože i lobanje.....	136
3.4.2. Kritika reprezentativog pogleda na sadržaje svesti.....	139
3.4.3. Utelovljeni sistemi na primeru robota.....	144
3.4.4. Utelovljenost na primeru bioloških sistema.....	148
3.4.5. Zaključak.....	154
4. Prevazilaženje slabosti postojećih modela	
Hipoteza neprekidne kauzalne samoreference.....	157
4.1. Kritika i slabosti dinamičkih modela svesti.....	157
4.2. Problemi teorije integrisane informacije.....	158
4.3. Da li je naučno prihvatljivo svakodnevno shvatanje svesti?.....	159
4.4. Kritika teze proširene svesti.....	168

4.5. Kritika teorija sredstava (posebnih obrazaca <i>EM</i> polja).....	169
4.6. Rešenje – hipoteza neprekidne kauzalne samoreference (<i>HNKS</i>).....	171
4.7. Cirkularna kauzalnost.....	178
4.8. U čemu je glavna razlika između <i>HNKS</i> i teorija polja?.....	180
4.9. Kojim moždanim mehanizmima se ostvaruje cirkularna kauzalnost?.....	180
4.10. U čemu je glavna razlika između <i>HNKS</i> i drugih informativnih modela poput <i>TII</i> ?.....	183
4.11. Neprekidna kauzalna samoreferenca i nelinearni kauzalni sled.....	184
4.12. Da li je svaki cirkularni kauzalni sistem svestan?.....	196
4.13. Kako model „neprekidne kauzalne samoreference“ odgovara na pitanja koja proizilaze iz empirijske evidencije?.....	196
4.14. Koji materijalni sistemi i oblici života mogu imati svest?.....	200
4.15. Da li je neuronski sistem jedini sistem u kome se stvara neprekidna kauzalna samoreferenca?.....	200
4.16. Da li sve životinje koje poseduju neuronski sistem poseduju i neki oblik svesti?.....	202
4.17. Šta razlikuje ljudski neuronski sistem od neuronskih sistema drugih životinja?.....	205
4.18. Da li se <i>NKS</i> može instancirati preko različitih kauzalnih petlji?.....	207
4.19. Da li se <i>NKS</i> može formirati u veštačkim sistemima?.....	207

Zaključna razmatranja	209
------------------------------------	-----

Literatura.....	219
-----------------	-----

UVOD

„Kada okrenem pogled ka nebu vidim ravan svod neba, i sjajan disk Sunca, i stotine drugih vidljivih objekata ispod njega. Koji su koraci koji dovode do ovoga? Sunčev zrak svetla ulazi u oko i fokusira se u mrežnjači. To dovodi do promene, koja zatim putuje do nervnog sloja na vrhu mozga. Ceo lanac ovih događaja, od Sunca do vrha mog mozga, je fizički. Svaki korak je električna reakcija. Ali sada sledi promena u potpunosti drugačija od svega što je do nje dovelo, i koju u potpunosti ne možemo objasniti. Vizuelna scena prikazuje sebe duhu: Vidim svod neba i Sunce na njemu, i pored toga stotine drugih vizuelnih stvari. U stvari, opažam sliku sveta oko sebe.“

(Sherrington, 1951, str. 3)

Postoji li nešto što nam je bliže i poznatije od naše sopstvene svesti? Nije li onda neobično da za takav fenomen i dan danas, nakon više milenijuma proučavanja, ne uspevamo da pružimo konačno objašnjenje? Zašto svest odoleva našim naporima da je razumemo? Navedeni citat, koji je napisao neurofiziolog Čarls Šerington (*Charles Sherrington*), na jednostavan način opisuje jedinstvenost svesnog iskustva. Kako iz lanca fizičkih događaja nastaje nešto čija je priroda u potpunosti drugačija i što se isključivo njima ne može objasniti? Pošto je svest predmet istraživanja koji se nalazi na granici između nauke i filozofije, predmet za koji i nauka i filozofija polažu pravo, ovaj rad za cilj ima da spoji naučan i filozofski pogled na problem svesti. Analiza svesti će se u osnovi zasnivati na neurobiološkim pristupima, ali će se implikacije posmatrati i iz naučnog i iz filozofskog ugla kako bi se dobilo što obuhvatnije i bolje razumevanje ovog fenomena.

Od svih predmeta istraživanja svest se do sada ispostavila kao jedna od najvećih misterija, a njeno istraživanje kao jedan od najtežih istraživačkih poduhvata. Osnovni razlog leži u prirodi same svesti, koja se razlikuje od ostalih predmeta istraživanja fizičkog sveta. Najveći problem u njenom izučavanju se ogleda u tome što objektivnim putem pokušavamo da objasnimo iskustvo koje je u potpunosti subjektivno.

Svest je jedino „vlasništvo” koje je u potpunosti privatno. Kao proizvod jedinstvenog organizma ona je samo njemu neposredno data. Da bi dočarao tu neposrednost Tomas Nejjel ju je definisao kroz pitanje „...kako izgleda biti X?”. (*Nagel, 1974, str. 437*) Postavljajući ovo pitanje Nejjel je želeo da stavi akcenat na suštinu svesnog doživljaja, fenomenalni aspekt svesti živih bića. Stoga se svest ne može deliti sa drugima, niti se njen sadržaj (kod drugih) može spoznati direktnim putem. I pored toga što svakodnevno upotrebljavamo rečenice „znam šta misliš“ ili „delim tvoja osećanja“, naša osnovna intuicija nam govori da mi nemamo pristup svesnim stanjima drugih osoba i drugih bića uopšte.

To nas dovodi do velikog metodološkog zadatka. Na koji način i kojim sredstvima izučavati svest? U koju god oblast prirodne nauke da pogledamo, poput neurofiziologije i kognitivne psihologije, ne možemo naći objašnjenje svesti koje je u skladu sa našom osnovnom intuicijom. Ono gde sve nauke ostaju bez odgovora je pitanje kako nešto što nam se intuitivno čini nematerijalno proizilazi iz fizičkih sistema? I pored toga što je specifična kao fenomen, mnogi naučnici i filozofi se prema njoj odnose kao prema objektu fizičkog sveta, i istražuju je uobičajenim naučnim metodama (eksperimentima, simulacijama, itd.). Ovakav, čisto objektivistički način, gde se u izučavanju fenomena koriste eskperimenti i simulacije, koji su za razliku od ličnih doživljaja i osećanja dostupni svima, nam omogućava da bolje upoznamo mehanizme koji leže u osnovi svesti, ali nas ništa neće približiti saznanju kako je to biti svestan, odnosno imati svesno iskustvo.

Kao osnovni argument protiv korišćenja izjava o ličnim doživljajima, mišljenjima, i osećanjima, navodi se da je njihovo korišćenje u suprotnosti sa naučnim principima na kojima počivaju prirodne nauke poput fizike, a koji podrazumevaju objektivnu proverljivost. Oštrica kritike je usmerena na neproverljivost, i nemogućnost da se korišćenjem izveštaja pristupi subjektivnim sadržajima. Drugi poput Nejjela smatraju da se zbog intersubjektivnog karaktera jezika ne možemo približiti saznanju kako izgleda imati određeno iskustvo. Ali i pored navedene kritike mnoge discipline, poput psihologije i neuronauke, koriste izveštaje prvog lica kao legitiman metod istraživanja.

Pristup u israživanju koji ne bi dozvolio korišćenje subjektivnih izveštaja, gde bi se jezik koristio kao medijum izražavanja subjektivnih stanja, zanemario bi u potpunosti specifičnost svesti kao predmeta istraživanja. Zbog svega navedenog je potrebno svest istraživati na poseban način, istovremeno prihvatajući njenu subjektivnu osobinu (subjektivni izveštaji) i potrebu za

objektivnim opisom fenomena (struktura i funkcionisanje neuronskog sistema). Takvo mišljenje deli i Džon Serl (*John R. Searle*). „Možemo imati epistemološki objektivno znanje o domenima koji su ontološki subjektivni.” (*Searle, 2002, str. 23*)

Da bi imala odgovarajući naučni karakter, svaka teorija svesti koja pretenduje da bude prihvaćena, mora da da odgovor na nekoliko fundamentalnih pitanja. Kako svest nastaje? Kakvi se mehanizmi nalaze u osnovi svesti? Kakva je priroda veze između fenomenoloških aspekata svesnog iskustva (u jednom trenutku možemo imati samo jedno iskustvo, svest je tok u kome se smenjuje ogroman broj različitih iskustava, itd.) i fizičkih aspekata mozga?

Poslednje pitanje je ujedno i najveći izazov u objašnjenju svesti. Jednostavno formulisano, kako je moguće da subjektivno fenomenalno iskustvo bude proizvod delovanja materijalnog sveta? „Kako živa fizička tela u fizičkom svetu mogu da proizvedu takav fenomen? To je misterija.” (*Dennett, 1992, str. 25*). Odnos materijalnog i fenomenalnog (tela i duha) je Šopenhauer označio kao „čvor sveta“. (*Griffin, 1998*) Raspetljati ovaj čvor ostao je do danas najveći izazov, odnosno „težak problem” kako je to Čalmers definisao. „Zašto je vršenje ovih funkcija praćeno iskustvom?” (*Chalmers, 2010, str. XiV*)

Veoma dugo unutar filozofije i nauka koje se bave problemom svesti prevladava podela na one koji smatraju da se mentalna i fizička stanja ne mogu redukovati jedna na druge, i na one koji smatraju da je redukcija moguća. Stanovište koje ću ja zastupati tokom rada je fizikalističko, ali se protivi reduktivnom fizikalizmu. Smatram da bilo kakva vrsta dualizma stvara mnogo veće probleme nego što nudi rešenja i da su pozicije dualizma supstancija i dualizma svojstava i empirijski i filozofski teže branjive od pozicije materijalizma (fizikalizma). Ispred dualističkih pozicija se nalaze nepremostivi problemi. Prvi problem je problem odnosa između dve potpuno različite supstancije. Kada i gde nastaje, kakve je prirode, i kako je uopšte moguća interakcija između fizičkog i mentalnog? Ukoliko je uopšte moguća nekakva interakcija potpuno različitih supstancija, ako postoji neka vrsta kauzalnog odnosa među njima, postavlja se pitanje da li su uopšte one različite, jer dve potpuno (supstancijalno) različite stvari ne bi trebalo da mogu da stupe jedna sa drugom u interakciju. Dakle i priroda takve interakcije je teško objašnjiva.

Osnovna tvrdnja reduktivnog fizikalizma je da celokupna realnost i sve činjenice zavise od bazičnih materijalnih entiteta i svojstava. Bez obzira na to koji su zaista osnovni („atomski“) entiteti, da li su to delovi materije ili događaji na mikro nivou, reduktivni fizikalizam

pretpostavlja da cela stvarnost postoji i da je objašnjiva isključivo na nivou tih fundamentalnih elemenata. Međutim, pod uticajem nauke i formulisanjem novih teorijskih modela stvorila se treća alternativa koju ću u radu i ja zastupati, emergentizam, stanovište koje dovodi u pitanje ono što i redukcionizam i dualizam prihvataju kao osnovu, a to je da uopšte postoje strogo definisan nivo ontološki primarnih entiteta i svojstva. Kako Kembel i Bickhard smatraju (*Campbell and Bickhard, 2011*) glavna rasprava između dualizma i fizikalizma se vodi oko toga da li se mentalne stvari (entiteti) mogu svesti na fizičke stvari ili entitete. Oni ne dovode u pitanje da li se stvarnost uopšte može svesti na osnovne konstituente.

U ovom radu ja ću prihvatiti tezu prema kojoj svest nije stvar, entitet koji se nalazi na nekom određenom mestu i predstavlja nepromenljivo svojstvo, već je ona proces, tok, koji se stalno menja. Zato je jedna od glavnih tema ovog rada definisanje mehanizama koji omogućavaju postojanje tog procesa, neprekidnog povezivanja široko distribuiranih neuronskih grupa. Kao što sam već naznačio, takvo stanovište podrazumeva odbacivanje dekartovskog dualizma (dualizma supstancija) i prihvatanje monističkog pogleda na stvarnost. Dualizam kao stanovište pokreće mnogo više problema nego što nudi rešenja, i zato smatram da monizam oslonjen na materijalistički pristup ima najveći eksplanatorni potencijal.^{1 2}

Materijalistički pristup svesnom iskustvu ne postoji kao jedna uniformna teorija. Veliki broj filozofa i naučnika svest ne samo da definišu, nego i razumeju na svoj način. Zbog toga je izučavanje svesti proizvelo ogroman broj teorija, od kojih su neke u pokušaju da je objasne otišle daleko od prvobitnog zadatka, pa su revidirale i sam pojam svesti. Otuda imamo i različite poglede na fundamentalna svojstva svesti.

¹ Dekartovski dualizam se često naziva interakcionistički dualizam jer se podrazumeva neka vrsta interakcije između fizičkog i mentalnog (tela i duha). Upravo u objašnjenju odnosa između dve potpuno odvojene i različite supstancije leži najveći problem dualizma. „Prvi glavni prigovor klasičnom interakcionističkom dualizmu je da on postulira postojanje dve potpuno drugačije vrste stvari, ali ne obezbeđuje objašnjenje kako one deluju jedna na drugu, i da li uopšte mogu da deluju. Drugi glavni prigovor je da je fizički opis, po sebi, već kauzalno zatvoren, dajući potpuno determinističko objašnjenje evolucije u vremenu svakog fizički opisanog entiteta. Ovo znači da mentalne realnosti nemaju šta da rade, i da nemaju mogućnost da deluju na bilo šta fizičko. Mentalno je ‘duh u mašini’ koji je zamišljen da povlači poluge kako bi ‘sproveo svoju volju’ u fizičkom svetu, ali to u stvari ne može da radi zato što je ponašanje fizički opisanog sveta u potpunosti određeno nezavisno od duhovnih mašina.“ (*Stapp, 2007, Quantum Mechanical Theories of Consciousness, Max Velmans, Susan Schneider (Editors), The Blackwell Companion to Consciousness, str. 305*) (*Kim, 1998*)

² Iako je blaža verzija dualizma, dualizam svojstava takođe nosi određeni broj problema. Više o tome. (*Searle, 2002*)

Pojavile su se i teorije koje u sebi sadrže podelu svesti na fenomenalnu (*phenomenal*) i pristupnu (*access*) svest (*Block, 1995*), panpsihizam (*panpsychism*)³ (*Strawson, 2006*), sveiskustvenost (*panexperientialism*) (*Griffin, 1998*), primarnu i sekundarnu svest (*Edelman, 2000*). Neke teorije, poput teorije integrisane informacije pokušavaju da kvantifikuju svesti. Đulio Tononi (*Giulio Tononi*) svest vidi kao: „Kapacitet sistema da integriše informacije.” (*Tononi, 2004*) To dovodi do udaljavanja od svakodnevnog shvatanja svesti, a neki, poput Danijela Deneta (*Daniel Dennett*) i Patriše Čerčland (*Patricia Churchland*), u udaljavanju vide jedini put ka razrešenju problema. Prema njima pojmovi poput svesti, motivacije, emocija, nemaju realnu potporu unutar moždanih mehanizama. Način na koji neuronski sistem funkcioniše i na koji je struktuiran može se ispravno opisati samo korišćenjem neuronaučnih termina. Zato što svakodnevno upotrebljavani termini „folk psihologije“ (svest, osećanja, empatija, motivacija itd.) nemaju realno značenje, potrebno je redefinisati pogled i terminologiju nauke o svesnom iskustvu. Svest možemo posmatrati i objasniti kao određeno ponašanje ili svojstvo sa kojim se susrećemo kroz iskustvo i koje upoznajemo putem različitih paradigmatičnih slučajeva. Na ovaj način svest se posmatra iz objektivnog ugla, iz ugla trećeg lica.

Ukoliko tako posmatramo svest moći ćemo da prevaziđemo *težak problem* kao problem koji se u potpunosti može svesti na *lak problem*. „Težak problem svesti je problem iskustva... Zašto bi fizičko procesiranje uopšte dovelo do nastanka bogatog unutrašnjeg života?“ (*Chalmers, 2007, The hard problem of consciousness, Max Velmans, Susan Schneider (Editors), The Blackwell Companion to Consciousness, str. 226*) „Zašto je vršenje ovih funkcija praćeno iskustvom?“ (*Chalmers, 2010*) Laki problemi se tiču uobičajenih problema kojima se bavi kognitivna nauka: memorija, učenje, procesiranje, prepoznavanje oblika, itd. „Laki problemi svesti su oni koji nam se čine direktno podložnim standardnim metodama kognitivne nauke, gde se fenomen objašnjava kompjutacionim pojmovima ili neuronskim mehanizmima.“ (*Chalmers, 2007, The hard problem of consciousness, Max Velmans, Susan Schneider (Editors), The Blackwell Companion to Consciousness, str. 225*) Prema eliminativistima da bismo objasnili svest potrebno je „samo“ da objasnimo lak problem, koji su i kako funkcionišu mehanizmi koji se nalaze u osnovi svesti. Ukoliko to objasnimo neće ostati ništa više što bi trebalo da se objasni vezano za svest.

³ Više o glavnim idejama i vrstama panpsihizma. <https://plato.stanford.edu/entries/panpsychism/>

Za tipičan primer neurobiološke definicije svesti možemo uzeti definiciju Karla Sagana (*Carl Sagan*): „Moja osnovna pretpostavka o mozgu je da je njegov rad - koji ponekada nazivamo duh - posledica njegove anatomije i fiziologije i ništa više. ‘Duh’ može biti posledica aktivnosti komponenata mozga pojedinačno ili kolektivno.” (*Sagan, 1977, str.6*) Ova definicija implicira da se svest u potpunosti može svesti na moždane procese. Nešto informativniju definiciju svesti je dao Roj Džon (*E. Roy John*): „Svest je proces u kome su informacije o višestrukim individualnim modalitetima senzacija i percepcije kombinovane u ujedinjenu, multidimenzionalnu reprezentaciju stanja sistema i njegovog okruženja, koja je integrisana sa informacijama o sećanjima i potrebama organizma, proizvodeći emocionalne reakcije i programe ponašanja kako bi se organizam prilagodio njegovom okruženju. Sadržaj svesti je trenutna konstelacija ovih različitih tipova informacija.” (*Edited by Schwartz and Shapiro, 1976, str.4*) Bernar J. Bars (*Bernard J. Baars*) u svojoj teoriji globalnog radnog prostora (*global workspace theory*) svest karakteriše kao: „Ključnu biološku adaptaciju koja omogućava mozgu da interpretira, uči, ulazi u interakciju, i deluje naspram sveta.” (*Baars, 1997, str. viii*)

Iako postoji veliki broj neuronaučnih definicija svesti, može se videti da se sve one kreću u određenom okviru, gde dominiraju pojmovi poput adaptacije, integracije, reprezentacije itd. Zajednička osobina svih materijalističkih teorija zasnovanih na neurobiološkim objašnjenjima je da za glavni predmet istraživanja uzimaju mozak, a neuron za osnovnu gradivnu i funkcionalnu jedinicu. „Veruje se da se zamršeno procesiranje i skladištenje informacija u mozgu vrši pomoću neurona. Zato ćemo se baviti isključivo neuronima, vezama među neuronima i procesima koji se mogu izvesti uz pomoć neuronskih mreža.” (*Abeles, 1991, str. 6*)

Osnovni motiv za istraživanje neurobioloških osnova svesti se nalazi u pogledu prema kome je biće koje ima subjektivni doživljaj, biće koje pripada fizičkom svetu i koje je kao takvo podložno zakonima koji vladaju u njemu, te stoga ima neke od mogućih fizičkih karakteristika tog sveta. Uvidi koje nam daje savremena nauka omogućavaju nam da svet analiziramo na načine na koje do sada to nije bilo moguće. „Mada tek započeta, nova nauka predstavlja pravu promenu paradigme i konsenzus da je svest legitimna tema naučnih istraživanja.” (*Koch, 2012, str.6*)

Neurobiološko istraživanje svesti pokušava da odgovori na neka od gore postavljenih osnovnih pitanja koristeći najnovije proboje u nauci. Takav poduhvat polazi od opšteprihvaćenih činjenica i osnovnih pretpostavki koje će biti osnova za dalja istraživanja i analize. Zato ćemo za

osnovu istraživanja uzeti ono što je očigledno, odnosno ono što je zajedničko svim bićima koje poseduju svesti ili bar pretpostavljamo da poseduju svest.

Bez obzira na razlike koje postoje između neurobioloških modela svesti, svi oni danas prihvataju pretpostavku da je mozak (neuronski sistem) zaslužan za nastanak svesti. „Šta se dešava u svakom primeru ljudskog života? Mi nekako refleksivno pretvaramo sirovi ulazni signal, kao na primer kada imamo iskustvo, vidimo i osećamo, u jedan drugi nivo organizacije. U fizičkom smislu, to je poput promene faze, kao kada se ide od čvrstog ka tečnom pa gasovitom stanju. Svako stanje ima svoja pravila, svoje reference, svoju realnost, pa tako i rad mozga. Mentalna stanja dolaze iz mozga, bez obzira da li ih želite ili ne. Naš pretvarač uzima ulazni signal i isporučuje ga novoj organizaciji.” (*Gazzaniga, Human, 2008, str. 248*)

Prema nekim modelima (*Crick and Koch, 2005*) svest se može lokalizovati, njen nastanak zavisi od dešavanja u manjim precizno lokalizovanim delovima mozga. Još od Dekarta postoji ideja da unutar mozga postoji tačka, mesto, u kome dolazi do interakcije između duševnog i fizičkog. Dekart je mesto interakcije između duševnog i materijalnog postavio u pinealnu žlezdu. Tri veka kasnije Krik i Koh su izneli ideju prema kojoj je klostur mesto unutar mozga u kome nastaje svest. (*Crick and Koch, 2005*) To mesto možemo posmatrati kao ciljnu liniju koju neuronski procesi moraju da prođu kako bi postali deo svesnog iskustva. Uopšteno gledano svi pristupi koji se bave potragom za centralnim mestom u kome se nalazi svest zastupaju tezu koja se naziva kartezijanski teatar. (*Dennett, 1992*).

Takva teza osporavana je na više nivoa a rezultati istraživanja dobijeni u proteklih nekoliko decenija vode ka njenom odbacivanju. U narednim poglavljima biće prikazan niz slučajeva dobijenih iz kliničke prakse i simulacija, koji pokazuju da je svest globalan moždani fenomen. Eksperimentalna evidencija pokazuje da je svest posledica kolektivnog delovanja široko distribuiranih mreža neurona. Ne postoji posebno mesto koje bi bilo neuronski korelat svesti, već je svest globalno svojstvo mozga. Upravo će centralna tema ovog rada biti modeli svesti koji se zasnivaju na teoriji dinamičkih sistema.

Višedecenijska debata o svesnom iskustvu donela je veliku raznovrsnost teorijskih modela, ali su se dosada svi oni pokazali kao nepotpuni. Cilj moje teze jeste da ponudim model svesti koji bi bio potpuniji i obuhvatniji od onih koji su predloženi do sada. Da bi bio potpuniji,

model svesti mora da bude konzistentan, da bude potkrepljen jačom i opširnijom eksperimentalnom evidencijom u odnosu na druge modele, da ima veću eksplanatornu moć i da odgovara našoj osnovnoj intuiciji.

Stanovište koje ću zastupati se u širem kontekstu može označiti kao biološki naturalizam. (Searle, 1992) „Mentalni fenomeni su uzrokovani neurofiziološkim procesima u mozgu i sami su osobina mozga.“ (Searle, 1992, str. 1) Jedna od bitnih razlika između Serlove pozicije i one koju ću ja zastupati je to što Serl smatra da postoji samo kauzalnost odozdo na gore (Searle, 2002), dok ja smatram da je za svest u biološkim sistemima od ključne važnosti da postoji dvostruka kauzalnost. I odozdo na gore (silazna) i odozdo na dole (uzlazna). Iako je kontroverzna, silazna kauzalnost danas ima sve više pobornika kao i empirijskih istraživanja koji ukazuju na njeno postojanje. Analiza pojma svesti u kontekstu kompleksnih sistema povlači sa sobom razmatranje silazne (*downward*) kauzalnosti kao podjednako realne i važne kao i uzlazne (*upward*) kauzalnosti. Unutar kompleksnih sistema između sistema kao celine i pojedinačnih komponenata postoji međusoban uticaj, istovremeno i *top down* i *bottom up* kauzalnost. Takav dvosmerni uticaj neki od autora nazivaju koemergencija. (Thompson, 2007)

Pojam *downward* kauzalnosti je direktno povezan sa emergencijom. Teorija kompleksnih dinamičkih sistema pokazuje da se makro svojstva u dinamičkim sistemima mogu održavati samo ukoliko postoji dvostruki uticaj, kauzalno delovanje mikro nivoa na makro nivo i obratno. Sam pojam kauzalnosti odozgo na dole upotpunjuje objašnjenje dinamike kompleksnih sistema, od ponašanja ćelija u biološkim sistemima, neurona unutar mozga, feromagnetnih materijala i diskretnih električnih kola. Zbog svega toga kauzalnost odozgo na dole ne samo da je predmet filozofskih rasprava već postoje jaki naučni argumenti koji idu u prilog njenog postojanja.

Osnovna hipoteza koju ću ja zastupati počiva na ontološkim osnovama, prema kojima organizacija ima nesvodivu ulogu u stvaranju novih svojstava. Svest se ne može u potpunosti objasniti svođenjem na osnovne materijalne konstituente, već je ona suštinski relaciono svojstvo tih konstituenata. Ona je dinamički proces, neprekidno menjajuća struktura kauzalnih relacija među konstituentima sistema. Ključ u razumevanju svesnog iskustva ne leži u pojedinačnim osnovnim jedinicama, neuronima, već u načinu na koji su oni organizovani. (Sporns, 2010)

Teorija svesti koju ću ja zastupati se oslanja na dinamičke modele, koji svest uzimaju kao globalno sistemsko svojstvo.

Svest je proces koji obuhvata dešavanja u različitim prostorno vremenskim okvirima i u potpunosti je zavisna od konfiguracije kauzalnih odnosa na mikro i makro nivoima. Dakle, ne postoje strogo definisane dimenzije materije koji imaju isključivu kauzalnu moć. Istraživanja (*Bressler and Kelso, 2016*) (*Tognoli and Kelso, 2014*) (*Kelso, 2012*) pokazuju da postoje svojstva koja se nalaze na najvišem nivou, nivou celog sistema, koja proizilaze iz relacija među konstituentima a koja se ne mogu pronaći na nivou bazičnih konstituenata. Svest nije stvar i ne možemo je poistovetiti sa određenom fizičkom strukturom. Pogled na svest kao na stvar u sebi nosi fundamentalnu grešku. Bez razumevanja šireg konteksta, strukture, organizacije i funkcije celokupnog neuronskog sistema, svođenje svesti na osnovne neuronske nivoe, poput pražnjenja kola u specifičnim moždanim područjima ili još detaljnije na funkciju *NMDA* receptora, vodilo bi u kategorijalnu grešku. (*Dehaene and Naccache, 2001*) Takav pogled protivrečan je i sa fenomenološkim i materijalnim aspektima svesti. Svest se u mozgu javlja u vidu procesa, i za njen nastanak je potreban period koji najčešće obuhvata nekoliko stotina milisekundi. Svesno iskustvo se ne može predstaviti kao nepromenljivo stanje, jer bez dinamičkog procesa nema ni svesti. Važni argumenti koji idu u prilog teze koju zastupam počivaju na opširnoj eksperimentalnoj evidenciji, koja ukazuje na vezu između kauzalne konfiguracije neuronskog sistema i svesti. Sindromi poput *prosopagnosije* i *anosognosije* pokazuju da se domen svesnog iskustva može menjati promenom mreže kauzalnih relacija unutar mozga. (*Gazzaniga, 2008*) Okvir svesnog iskustva se širi ili sužava, ali uvek ostaje jedinstven, sve dok se ozbiljnije ne naruši kauzalna konfiguracija i sistem prestane da postoji kao jedinstvena celina.

U skladu sa tim pokušaću da pokažem da se svest kao svojstvo pojavljuje u slučajevima kada materija i relacije između njenih elemenata imaju posebnu kauzalnu konfiguraciju. Kao glavnu teorijsku i empirijsku podršku toj hipotezi korišću modele i eksperimentalnu evidenciju različitih autora koji zastupaju dinamičke teorije svesti poput Tononija, Edelmanna, Spornsa i drugih. Navedeni autori implicitno podržavaju ontologiju u kojoj relacije spadaju u osnovna primitivna svojstva stvarnosti. (*Sporns, Chialvo, Kaiser and Hilgetag, 2004*) (*Edelman and Tononi, 2000*) (*Olaf Sporns, 2010*) (*Tononi and Koch, 2015*).

Pregled sadržaja po poglavljima

U prvom poglavlju ću se baviti uticajem teorije dinamičkih sistema na druge nauke. Videćemo kako su razvoj *TDS* (teorije dinamičkih sistema) i njen pojmovni okvir direktno uticali na ontološki bitne pretpostavke. Ukazaću na njihovu važnost u argumentima u debati između redukcionizma i emergentizma. Kroz debatu između dva suprotstavljena stanovišta videćemo kako se fokus u razumevanju fizičkog sveta, pre svega funkcionisanja sistema, pomerio sa delova (mikro nivoa) na celinu (makro nivo). U ovom poglavlju ćemo kroz različite teorijske hipoteze i empirijske primere videti da je teorija dinamičkih sistema osnov za prihvatanje savremene forme emergentizma, koja je od suštinske važnosti za uspostavljanje i odbranu teze prema kojoj je svest emergentno svojstvo u dinamičkim sistemima.

U drugom poglavlju ću prikazati osnovne pojmove i teorijske okvire na kojima počiva teorija dinamičkih sistema. Pojmovi kojima raspolaže teorija dinamičkih sistema poput samoorganizujuće kritičnosti, metastabilnosti, tranzicije faza, emergencije, integracije i informacije, su od suštinske važnosti za objašnjenje ponašanja kompleksnih sistema u koje spada i mozak. Kakva je empirijska primena ovih pojmova biće predstavljeno kroz analizu ponašanja gomile peska, zemljotresa, feromagnetnih materijala i kompjuterski model „*Game of Life*“. Navedeni primeri će imati poseban doprinos u odgovoru na pitanje kako jedan fizički sistem može da poseduje emergentno svojstvo koje prevazilazi ponašanje njegovih pojedinačnih elemenata? U ovom poglavlju načiniću i korak dalje pa ću pokazati koje su osobine mozga koje mu omogućavaju da proizvede emergentno svojstvo (svest). Kroz mnogobrojne primere iz kliničke prakse i simulacije pokazaću koliko je svesno iskustvo povezano sa sposobnošću sistema da integriše velike količine informacije. Kao što ćemo videti, sposobnost integracije velike količine informacije je posledica posebne arhitekture i funkcionalne dinamike mozga i upravo zahvaljujući njima mozak može da proizvede svesno iskustvo.

U trećem poglavlju predstaviću najvažnije modele svesti koje se oslanjaju na teoriju dinamičkih sistema. Prvo ćemo videti modele koje svoje hipoteze zasnivaju na procesu integracije informacije (teorija dinamičkog jezgra, teorija integrisane informacije) a zatim ćemo videti kako se kompleksna dinamika polja može dovesti u vezu sa svesnim iskustvom. U okviru teorije polja će biti prikazani i modeli koji uzimaju pojam informacije za osnovnu jedinicu kojom se može objasniti svesno iskustvo, ali koji informaciju koriste u kontekstu teorije polja. Na kraju

će biti predstavljena teza proširene svesti koja dovodi u pitanje prostorno vremenske okvire u kojima se realizuje svesno iskustvo.

U četvrtom poglavlju ću izložiti slabosti predloženih modela, pokazati njihovu nepotpunost i izložiti dodatne argumente kojima bi se otklonili problemi i dao potpuniji dinamički model svesti. Pokazaću da nijedan od navedenih dinamičkih modela svesti nije uzeo u obzir fundamentalnu osobinu fenomenalnog iskustva, usmerenost na samu sebe (samoreferentnost). Izložiću svoju osnovnu hipotezu koju sam nazvao „neprekidna kauzalna samoreferenca“ a koja se zasniva na procesu cirkularne kauzalnosti. Ja ću zastupati tezu prema kojoj je subjektivno iskustvo proces u kome dolazi do balansa kauzalnog uticaja između *top down* kauzalnosti koju sprovode elektromagnetna polja unutar mozga i *bottom up* kauzalnosti koju sprovode pojedinačni neuroni kroz svoje pražnjenje. Pokazaću da je glavni mehanizam svesti cirkularna kauzalna petlja koja se ostvaruje u talamokortikalnom sistemu gde dolazi do uspostavljanja kauzalne samoreference. Na samom kraju ćemo kroz nekoliko empirijskih primera testirati predviđanja *HNKS* i pokazati da ona bolje od ostalih prikazanih modela odgovara na svakodnevno shvatanje pojma svesti.

1.

Značaj i uticaj teorije dinamičkih sistema Istorijski kontekst i njene implikacije u naukama

1.1. Teorija dinamičkih sistema kao argument u debati između redukcionizma i emergentizma

Većina savremenih teoretičara, koji pokušavaju naučnim pristupom da odgovore na problem svesti, se u velikoj meri oslanja na pojmove i hipoteze teorije dinamičkih sistema. Teorija dinamičkih sistema se koristi u kontekstu koji je relevantan za razumevanje svesti ali je u svojoj osnovi šira od debate o prirodi svesnog iskustva. Osnovna ideja o teoriji dinamičkih sistema postoji već nekoliko stotina godina ali se vrhunac interesovanja za nju poklapa sa pronalaskom računara. Dok je ranije bilo moguće rešavanje samo izuzetno jednostavnih dinamičkih sistema, od sredine dvadesetog veka zahvaljujući računarima omogućeno je testiranje i praćenje dešavanja u sistemima velike kompleksnosti. Interesovanje za dinamičke sisteme i razvoj teorije dinamičkih sistema se poklapa sa jačanjem pozicije emergentizma.

Istorijski posmatrano redukcionizam je bila dominantna ideja u naučnoj zajednici u većem delu 20. veka. Međutim, danas je usled sve većeg razumevanja dinamike kompleksnih sistema sve veći broj pristalica emergentizma. Emergentizam nije nov teorijski pravac, on svoje korene vuče još od kraja 19. veka i početka 20. veka. Kada se govori o njemu kritičari najčešće uzimaju u obzir hipoteze koje su zastupali britanski emergentisti u tom periodu. I pored toga što među britanskim emergentistima postoje određene razlike^{4 5}, doktrina koju su svi oni zastupali se može iskazati preko sledećih ideja.

⁴ Mil i Brod (*J.S. Mill and C. D. Broad*) su emergenciju videli kao primitivno svojstvo viših nivoa, koje je rezultat kauzalnih interakcija na tim višim nivoima i koje se ne može u potpunosti opisati interakcijama na nižim, bazičnijim nivoima. Aleksandar (*Samuel Alexander*) je emergentna svojstva video kao u potpunosti nova svojstva sistema, koja se ne mogu opisati preko zakona koji vladaju na nižim nivoima stvarnosti. Kada interakcije materijalnih konstituenata na nižim nivoima dostignu određene nivoe kompleksnosti, iako podređene fizičko-hemijskim zakonima, one dovode do nastanka novog emergentnog svojstva koje je primitivno i kao takvo predstavlja isključivo osobinu nove kompleksne konfiguracije. Osobine konfiguracija višeg reda se mogu opisati zakonima formulisanim u

Prema njima ne postoji nikakva nevidljiva sila ili druga supstancija koja bi u organizmima proizvodila život i duh. Sve je sačinjeno od materije čiji su bazični konstituenti elementarne čestice. Materija je organizovana tako da postoji hijerarhija nivoa organizacije materije, gde sa povećanjem kompleksnosti kauzalnih struktura osnovnih čestica dolazi do nastanka emergentnih svojstava, koja predstavljaju posebna svojstva materije i pripadaju strukturama na višim nivoima. Stvarnost je dakle viđena kao slojevita, gde svaki „sloj“, odnosno nivo, predstavlja jedinstveni fenomen koji se ne može redukovati na bazičniji nivo. Ovo sa sobom povlači da ne postoje fundamentalni ontološki entiteti i da se realnost fenomena posmatra preko različitih nivoa. Za razumevanje tih nivoa su potrebne posebne nauke koje se bave tim specifičnim domenima i one u okviru određenog nivoa imaju najveću eksplanatornu snagu. Pored navedenog još jedna bitna karakteristika britanskog emergentizma je zalaganje za nomološku mogućnost kauzalnosti odozgo na dole (*downward*). (*McLaughlin, Bedau and Humphreys (Editors), 2008*)

1.2. Može li se svest redukovati na osnovne elemente?

Ideja da se svest može redukovati na osnovnije fizičke komponente se može podvesti pod ono što nazivamo filozofskim redukcionizmom. Sam po sebi redukcionizam nije isključivo povezan sa materijalističkim stanovištem i ima ontološku neutralnost. Reduktivno bi bilo i stanovište prema kome se sva realnost svodi na određene nefizičke osnove. Dok god postoji osnova koja se ne može svesti na nešto jednostavnije, koja daje realnost i u potpunosti objašnjava složenije stvari od sebe, možemo govoriti o redukcionizmu. Dakle, reći da se jedan entitet x redukuje na drugi y ne znači ništa drugo no reći da je y bazičnije od x , i da se x u potpunosti može objasniti pomoću y . X ne sadrži ništa više od y , i nije ništa više od y . U literaturi se pojavljuje veliki broj definicija, vrsta i tipova redukcionizma ili stanovišta koji se mogu okarakterisati redukcionističkim, poput: hijerarhijskog redukcionizma (*Dawkins, 2006*), konceptualnog ili epistemološkog redukcionizma (*Honderich, 2005*), konstitutivnog

okviru posebnih nauka (biologija, psihologija, sociologija, itd.) koje izučavaju te fenomene. Za više o britanskom emergentizmu pogledati (*Alexander, 1966*) (*Broad, 1925*) (*Bedau and Humphreys (Editors), 2008*) (*Clayton and Davies (Editors), 2006*)

⁵ Osim ranih britanskih emergentista tokom dvadesetog veka više autora je branilo poziciju emergentizma. Neki od poznatijih su Morgan (*Morgan*), Sperry (*Roger Sperry*), Polanyi (*Michael Polanyi*), Mekeje (*Donald MacKay*). Detaljnije o njima možemo videti u (*Clayton, 2004*)

redukcionizma (*Sarkar, 1992*), pohlepnog redukcionizma (*Dennett, 1996*), eliminativizma (*Churchland, 2002*) (*Dennett, 1992*), kauzalnog redukcionizma (*Menzies, 1998*) itd. Generalno gledano sve vrste redukcionizma se mogu podvesti pod tri osnovna oblika: epistemološki, ontološki i metodološki.

Ontološki redukcionizam se odnosi na ono što postoji i implicira da suštinski postoje samo fundamentalni elementi stvarnosti (u slučaju materijalizma to na primer mogu biti molekuli, atomi ili kvarkovi). Sve ostale kompleksnije strukture nisu ništa više do strukture sačinjene od fundamentalnih elemenata.

Epistemološki redukcionizam je stav da se saznanja jedne naučne discipline, koja se odnosi na jedan domen stvarnosti, može u potpunosti svesti na objašnjenja neke druge fundamentalnije discipline. Primer epistemološke redukcije je svođenje objašnjenja epidemiologije na molekularnu biologiju, koja se zatim može svesti na hemiju, koja se dalje svodi na fiziku.

Metodološki redukcionizam se odnosi na objašnjenje i tvrdi da će se saznavanjem fundamentalnih nivoa omogućiti saznanje svih kompleksnijih fenomena na višim nivoima. Metodološki redukcionizam se ogleda u stavu da je najbolje koristiti procedure koje složene sisteme razlažu na što jednostavnije komponente. Objašnjenje tih jednostavnijih komponentata bi istovremeno značilo i objašnjenje celog sistema. Osnovne principe metodološkog redukcionizma možemo videti već kod Bejkona i Dekarta. (*Bacon, 2000*) (*Descartes, 1998*)

Kada se bavimo objašnjenjem svesti preko različitih naučnih hipoteza i saznanja, neminovno se susrećemo sa sve tri vrste redukcionizma. Za filozofe je najinteresantniji ontološki redukcionizam koji tvrdi da se svest, odnosno fenomenalni svet može u potpunosti svesti na fizički. Gotovo sva neurobiološka objašnjenja svesti predstavljaju redukcionističko stanovište, prihvatanje materijalizma, gde se svest i sva njegova svojstva mogu redukovati na svojstva fizičkog sveta. „Ideja da se svaki poseban biološki sistem sastoji ni od čega drugog do molekula i njihovih interakcija”. (<http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/reduction-biology/>).

Dokle neurobiološka redukcija može da ide, najbolje prikazuje *ORCH OR* teorija (orkestrirana objektivna redukcija) (*Penrose and Hamerof, 2011*) (*Penrose and Hamerof, 2014*) prema kojoj se svest može objasniti jedino redukcijom na kvantni nivo. Prema njima osnovne jedinice u kojima se odvijaju kvantni procesi koji grade svesno iskustvo nisu neuroni, već mikrotubule, elementi unutar neurona koji čine deo citoskeletona. *ORCH OR* teorijom se neću

detaljnije baviti u radu jer današnja naučna istraživanja nisu još uvek na potrebnom nivou da bi omogućila dovoljno eksperimentalne evidencije koja bi je potvrdila ili opovrgla . Osim toga po načinu objašnjenja *ORCH OR* odskaka od ostalih „standardnih“ neuronaučnih objašnjenja, pa bi njeno objašnjenje zahtevalo posebnu analizu.

1.3. Redukcionizam i emergentizam kao heurističke strategije

Određeni broj teoretičara zastupa stav prema kome analizom manjih i osnovnijih delova možemo doći do korisnih informacija vezanih za predmet izučavanja, ali rezultat dinamike kompleksnih sistema prevazilazi zbir aktivnosti pojedinačnih delova. Tada govorimo o nastanku emergentnih svojstava sistema. (*Kauffman, 1993*)

U izučavanju dinamičke organizacije organizama postoje dva pravca, redukcionistički koji predvodi mikrobiologija i holistički koji predvodi biologija sistema. Strategija istraživanja može imati dva smera. Silazni (*top down*) smer, gde se polazi od makro nivoa i na osnovu globalnih fenomena donose pretpostavke o mehanizmima koji leže u osnovi prikupljenih podataka. I uzlazni (*bottom up*) koji polazi od mikro molekularnog nivoa pa se na osnovu prikupljenih podataka postavljaju hipoteze vezane za globalne mehanizme. U navedenom slučaju na (*top down*) i (*bottom up*) treba gledati isključivo kao na istraživačke strategije.

Prema emergentizmu (holizmu) celina je nešto više od delova koji je čine. Da bi se razumela ona se mora posmatrati kao celina i objašnjenja njenih pojedinačnih delova neće dati potpuni opis celine. Jan Kristijan Smuts (*Jean Cristian Smuts*) definiše termin holizam kao: „Osnovni faktor koji deluje ka stvaranju celina u univerzumu.“ „Proces kreativne sinteze, čije rezultujuće celine nisu statične već dinamične, evolutivne, kreativne” (*Smuts, 1927, str. 89*) Kod Smutsa se holizam javlja u najopštijem značenju, gde predstavlja osnovni princip koji vlada u univerzumu. Danas u literaturi možemo naći različite oblike i podvrste holizma pa tako imamo ontološki holizam (*Looijen, 2000*). „Ontološki holizam uključuje neki oblik pluralizma, ideju, grubo, da svi nivoi organizacije imaju jednaku ontološku vrednost.“ (*Looijen, 2000, str. 16*) Tu su još konfirmacioni ili epistemološki holizam čija ideja se pripisuje Kvajnu (*Quine, 1951*), emergentizam koji je danas na vrhuncu svoje popularnosti. (*Looijen, 2000*) (*Bitbol, 2007*)

Iako imaju drugačija polazišta redukcionizam i emergentizam (holizam) ne moraju nužno biti u suprotnosti već se mogu pomiriti kao heurističke strategije. Najbolji put za naučni pristup istraživanju je prihvatiti oba stanovišta kao bitne delove bez kojih slagalica ne bi bila potpuna.

Slobodno možemo reći da su ova dva pristupa komplementarna i da se ne moraju u potpunosti isključivati. (*Fang F.C. Casadevall A., 2011*) Neki od teoretičara koriste delove redukcionističke strategije kako bi što bolje upoznali najsitnije konstituente, ali takođe i holistički pristup gde se ponašanje makro nivoa posmatra kao nešto što prevazilazi skup pojedinačnih elemenata i čija dinamika interakcija ne daje linearni rezultat. Danas neuronauka ide u smeru korišćenja obe strategije kao heurističkih principa. Tu strategiju ću prihvatiti i ja, ali samo kao istraživačku strategiju, jer ću redukcionizam prihvatiti isključivo kao heuristički princip, a ne i u ontološkom smislu. Zbog toga je veoma je važno razgraničiti prihvatanje ove dve strategije kao heurističkih i kao ontoloških principa. Filozofski je svakako zanimljivija rasprava po pitanju ontološkog statusa mentalnih fenomena.

1.4. Šta je verovatnije, redukcija ili emergencija?

Emergentizam se čini kao rešenje koje je u stanju da pomiri intuiciju, da naša mentalna stanja imaju poseban status (fenomenalni aspekt), da nisu potpuno svodiva na materiju, ali i da postoji kauzalna zatvorenost fizičkog sveta. Zahvaljujući razumevanju dinamike i strukture kauzalnih odnosa u kompleksnim sistemima emergentizam omogućava uvažavanje realnosti oba područja, fizičkog i mentalnog, i to bez prihvatanja dualističkih pretpostavki.

Ali emergentizam nije opšte prihvaćeno stanovište i suočen je sa nizom kontraargumenata. Jedan od vodećih kritičara emergentizma Džegon Kim (*Jaegwon Kim*) smatra da je mikro nivo jedini ontološki stvaran nivo i da „Delovi materije i njihovi agregati u prostor-vremenu iscrpljuju sadržaje sveta.“ (*Kim, 2005, str. 71*) Uobičajeno se emergentno svojstvo posmatra kao svojstvo koje ispoljava fizički sistem visoke kompleksnosti. Takvo značenje pojma emergencije prihvata i Kim (*Kim, 2006*). Samo u određenim uslovima, kada zadovolji određeni nivo kompleksnosti i strukturalne organizacije, sistem sačinjen od velikog broja bazičnih konstitutivnih elemenata materije ispoljava novo globalno, emergentno svojstvo. Kako smatra Kim tri stvari su karakteristične za emergentizam: supervenijencija, nesvodivost i kauzalnost odozgo na dole (*downward*)⁶. Prema njemu ove tri stvari rade protiv emergentizma. Razmotrimo prvo pojam supervenijencije.

⁶ Osnovne principe emergentizma navodi i Timoti Okonor (*Timothy O'Connor*). Prema njemu emergentno svojstvo *S* nekog objekta *O* mora da ispunjava četiri uslova. A) Da *S* supervenira na svojstvima delova *O*, B) da emergentno

„Supervenijencija: Ako svojstvo M nastaje iz svojstava $N1, \dots, Nn$, onda M supervenira na $N1, \dots, Nn$. To će reći, sistemi koji su slični u odnosu na bazične uslove, $N1, \dots, Nn$, moraju biti slični i u odnosu na njihova emergentna svojstva.“ (Kim, 2006, str. 550) Prema ovome svojstvo P sistema S u potpunosti je određeno svojstvima i relacijama njegovih mikro konstituenata. P supervenira na mikrofizičke činjenice vezane za S .

Zbog ovoga je prema Kimu svako ko podržava emergentizam suočen sa velikim problemom. On ili može da prihvati da emergentni fenomeni superveniraju na konstituente na nižim nivoima, što bi ih u potpunosti redukovalo na konstituente, ili da prihvati da emergentni fenomeni imaju posebnu kauzalnu moć koja se ne može svesti na konstituente, što bi prema Kimu ugrozilo fizikalističku pretpostavku koja počiva na kauzalnoj zatvorenosti sveta. Opcija prema kojoj materijalni svet nije kauzalno zatvoren nije prihvatljiva ni za jednog fizikalistu.

Kako bi se očuvala veza sa fizikalizmom Kim smatra da emergencija mora da povlači supervenijenciju. A kako supervenijencija znači potpunu zavisnost makro od mikro nivoa, kauzalnog delovanja od mikro nivoa ka makro nivou, prava emergencija ne može ni da postoji. Vidimo da Kim podržava isključivo *bottom up* kauzalnost, gde kauzalnost ostaje na onom nivou na koji svojstvo P supervenira. Supervenijencija nam pokazuje da je kauzalno jedini stvaran nivo osnovni nivo, nivo na kome se nalaze mikro konstituenti na koji makro nivo supervenira. Važna tačka ovakvog razumevanja emergencije se odnosi na tumačenje emergencije koju su podržavali britanski emergentisti. (Broad, Mill) U tom smislu se emergencija posmatrala kao svojstvo sistema koje se ne može objasniti i predvideti u potpunosti preko mikro konstituenata i njihovih relacija. Iz tog razloga Kim nesvodivost vidi kao jedno od glavnih uslova emergencije.

Kada govori o emergenciji Kim pre svega ima u vidu vid emergencije koji se označava kao jaka emergencija. Osim britanskih emergentista postoji deo savremenih autora koji podržavaju jaku emergenciju. Tako na primer Čalmers tvrdi (David J. Chalmers, *Strong and weak emergence in Philip Clayton and Paul Davies (Editors), 2006*) da se jedino svest može posmatrati kao istinski jak emergentan fenomen. Sve ostale emergentne prirodne fenomene možemo posmatrati kao slabo emergentne. Glavna razlika između ova dva vida emergencije se

svojstvo S ne poseduje nijedan samostalni deo O , C) da je S različito od strukturalnog svojstva O , D) da S ima direktni odlučujući uticaj (odozgo na dole) na obrasce ponašanja koji uključuju delove O . (O'Connor, 1994)

ogleda u tome što jaka emergencija povlači sa sobom da se emergentni fenomeni ne mogu ni u principu dedukovati zakonima (fizičkim) koji vladaju na bazičnim nivoima materijalnog sveta. Osim toga jaka emergencija podrazumeva postojanje novog ontološkog nivoa, koji poseduje nove emergentne kvalitete koji se ni u kom slučaju ne mogu opisati ili dedukovati sa drugog ontološkog nivoa.

Jaka emergencija se kao stanovište suočava sa velikim problemima. Glavni problem jake emergencije je u tome što se ona često označava kao svojstvo koje je nešto „preko i više od moždanih procesa“ (*Searle, 2002*), što se može okarakterisati kao da poseduje magičnu prirodu „...dobijati nešto ni iz čega.“ (*Bedau, 1997*) Ukoliko makro svojstvo ima u potpunosti nezavisan kauzalni uticaj odozgo na dole, to znači da je delovanje makro nivoa u potpunosti nezavisno od bazičnih konstituenata na nižim nivoima na kojima supervenira. Prihvatanje takve kauzalnosti odozgo na dole ugrožava fizikalističku sliku o kauzalnoj zatvorenosti sveta.

Poput Čalmersa i Serl smatra da su svesna stanja nesvodiva na neurofiziološke događaje (da imaju subjektivnu ontologiju) ali za razliku od njega ne podržava ideju jake emergencije i nečega što bi se moglo okarakterisati kao dualizam svojstava, već podržava ideju slabe emergencije. On smatra da i pored toga što se svest ne može redukovati na fizičku osnovu, može se objasniti preko strukture kauzalnih interakcija na mikro nivou. (*Searle, 1992*) Bedau (*Mark Bedau*) takođe smatra da je slaba emergencija bolji izbor za objašnjenje prirodnog sveta. Prema njemu tri karakteristike idu u njenu korist. „Ona je metafizički nevina, konzistentna sa materijalizmom, i naučno korisna, posebno kod nauka o kompleksnosti koje se bave životom i duhom.“ (*Bedau, 1997, str. 376*)

Suštinska razlika između slabe i jake emergencije jeste u tome što slaba emergencija prihvata mogućnost da se u principu ponašanje makro nivoa može odrediti i predvideti u budućnosti, ukoliko imamo potpuno znanje dešavanja na mikro nivou i svih relevantnih spoljašnjih uslova. Slabu emergenciju podržavaju takođe i Kembel i Bikhard prema kojima je od suštinske važnosti nesvodivost makro nivoa na mikro nivo tumačiti na slabiji način. Slabiji način podrazumeva da emergentna, makro svojstva, nisu u potpunosti identična sa mikro svojstvima, ali da se mogu objasniti i razumeti koristeći se analizom mikro konstituenata i njihovih relacija.

(*Campbell and Bickhard, 2011*) Ovakvu slabiju emergenciju takođe zastupaju i Tononi, Albantakis i Hoel (*Tononi, Albantakis and Hoel, 2013*).

Da bi redukcioniistička hipoteza imala dovoljnu snagu da odgovori na argumente slabe emergencije, Kim je svestan da redukcija osim svođenja na osnovne konstituenate, mora da uključuje i međusobne relacije osnovnih konstituenata. Zato u objašnjenju redukcije Kim uvodi pojam „mikro strukture“. Ona nam govori od kojih bazičnih elemenata (mikro konstituenata) i kojih strukturalnih relacija, koje povezuju mikro konstituenate, je konstituisan stabilan makro objekat. (*Kim, 2005*) Takva mikro strukturalna svojstva zasnovana na mikro konstituentima i njihovim relacijama nisu ništa drugo do makro svojstva objekata. Iako su makro svojstva zasnovana na mikro konstituentima ona postoje samo u okviru jedinstvene celine. Dakle, veoma važna tačka u Kimovom argumentu je da takva makro svojstva ne superveniraju na mikro konstituenate, bez obzira da li uzimamo mikro konstituenate pojedinačno ili kao grupu. Ono na šta makro svojstva superveniraju je konfiguracija tih mikro konstituenata. (*Kim, 2005, str. 57*)

Kembel i Bikard smatraju da čak iako su mikro strukturalna svojstva (makro svojstva) identična sa konfiguracijom mikro konstituenata to ne implicira da je kauzalna moć konfiguracije identična sa kauzalnom moći zbira konstituenata. Konfiguracija je svojstvo skupa konstituenata, a skup nije identičan sa svojim članovima ili bilo kojim njihovim zbirom. (*Campbell and Bickhard, 2011*) Videćemo nešto kasnije argument koji pokazuje da postoje slučajevi u kojima konfiguracija ima veću kauzalnu moć od zbira kauzalne moći elemenata na bazičnom nivou. (*Tononi, Albantakis, Hoel, 2013*)

Postoji više osnova na kojima se može braniti slabi emergentizam. Moguće je kritikovati redukciju na mikro konstituenate koristeći se novim modelima i pojmovima savremene fizike. Da se kauzalni uticaj unutar materijalnog sveta ne iscrpljuje isključivo kroz delovanja partikularnih mikro konstituenata ukazivao je i Fejnman (*Richard Feynman*). Prema njemu polja koja nastaju pod uticajem čestica, poput elektromagnetnog, čine isto tako stvaran deo sveta i imaju podjednako važan kauzalan uticaj kao i same čestice. „Činjenica da elektromagnetno polje poseduje momentum i energiju ga čine veoma stvarnim, i tako, radi boljeg razumevanja, prvobitna ideja da postoje samo sile između čestica mora biti modifikovana do ideje da čestica

stvara polje, a polje deluje na drugu česticu, gde i samo polje ima tako poznata svojstva kao što su energetska sadržaj i momentum, baš kao što ih imaju i čestice.“ (*Feynman, 1963, str. 109*)

1.5. Emergentizam i nova ontološka pretpostavka

Bickhard (*Bickhard, 2009*) ide još dalje i smatra da je ontologija zasnovana na elementarnim česticama pogrešna. Kao argument navodi prirodu takvih čestica. Da bi čestica bila elementarne ona ne bi smela biti deljiva na sitnije komponente. Jedini način da čestica to postigne je da bude kao materijalna tačka. Ukoliko bi čestice posmatrali kao tačke iskrasao bi problem njihove interakcije. Verovatnoća da čestice sa osobinama tačke dođu u međusobnu interakciju je jednaka nuli. Kako onda one mogu da dođu u interakciju jedna sa drugom? Jedno od rešenja je delovanje polja koje proizvode. Ukoliko prihvatimo to onda moramo da prihvatimo da polja imaju stvarnu kauzalnu moć, što istovremeno znači prihvatiti da relacije među konstituentima imaju stvarnu kauzalnu moć. (*Bickhard, 2009*) Vidimo da čak i ako prihvatimo hipotezu da postoje bazični konstituenti materijalnog sveta, u njima se ne iscrpljuje celokupna kauzalna moć, deo kauzalne moći se nalazi i u poljima.

Današnji emergentisti dovode u pitanje postojanje takve bazične partikularne ontološke osnove. Uzimanje „polja u procesu“ za ontološki primitivnu osnovu omogućava treći put koji odbacuje podjednako i dualizam i reduktivni fizikalizam. (*Campbell, 2009*) Sa jedne strane svi fenomeni se mogu objasniti osobinama i interakcijama unutar materijalnog sveta ali ne postoji prostornovremenski bazičan nivo koji ima ekskluzivnu kauzalnu moć i na koji se svi fenomeni fizičkog sveta mogu redukovati.

„Ono što je naša najbolja savremena fizika otkrila je da ne postoje elementarne ‘čestice’, elementarni događaji, ili neke takve partikularije; sve je sačinjeno od kvantnih polja, različitih skala i kompleksnosti.“^{7 8} (*Campbell and Bickhard, 2011, str. 45*) „Umesto toga, potrebno je razumevanje emergencije zasnovano na procesu, a prelazak na metafiziku procesa menja ceo

⁷ Prema teoriji kvantnih polja svaka bazična elementarna čestica (čestice koje nisu deljive) poput: elektrona, fotona, fermiona, kvarkova, bozona, neutrino čestice itd., je proizvod jedne vrste polja. Foton je rezultat vibracija elektromagnetnog polja, elektron elektron-pozitron polja, higsov bozon higsovog polja, itd.

⁸ Više o kvantnim poljima kao ontološkim osnovama u *There are no particles, there are only fields* (Hobson, 2013), i *The Theory of Almost Everything: The Standard Model, the Unsung Triumph of Modern Physics* (Oerter, 2006)

okvir pretpostavki unutar kojih se nastavlja rasprava.“ (*Campbell and Bickhard, 2011, str. 34*)
Procesi postoje samo u okviru organizacije. Ovaj rad će pokušati da pokaže kako organizacija neuronskog sistema i procesi unutar njega omogućavaju nastanak svesti. Svest nastaje u organizovanim procesima koji su podržani posebnom arhitekturom (mali svet)⁹ među konstituentima, u sistemu koje se nalazi u stanju daleko od ekvilibrijuma, a koji ima dovoljno stabilnu strukturu da atraktori¹⁰ određeno vreme drže proces u stabilnom stanju ekvilibrijuma.

Kembel i Bickhard (*Campbell and Bickhard*) takođe smatraju da ne postoji ontološki privilegovana skala dešavanja. Ako posmatramo teoriju kvantnog polja možemo videti da ne postoje ograničenja po pitanju opsega u okviru koga se manifestuju mikrofizičke relacije. (*Campbell and Bickhard, 2011*) „Ako kauzalne moći stabilnog sistema nastaju na makro nivou iz holističke organizacije njegovih mikro konstituenata, tačno je da je makro organizacija ta koja daje sistemu karakteristična svojstva, svojstva koja njegovi mikro konstituenti nemaju. U tom slučaju, ta makro svojstva bi bila istinski nova svojstva koje ne poseduju njegovi jednostavniji konstituenti“ (*Campbell and Bickhard, 2011, str. 37*) Iz ovoga možemo videti da Kembel i Bickhard smatraju da je novo makro svojstvo emergentno svojstvo i da Kimova strategija u kojoj uvodi pojmove mikro strukture i konfiguracije u stvari radi protiv redukcionizma koji zastupa.

Još jedna važna tačka na koju ukazuju Kembel i Bickhard kada kritikuju reduktivni fizikalizam tiče se njegovog odnosa prema entitetima koji imaju kauzalnu moć. Naime, moguće je da neko ko zastupa reduktivni fizikalizam prihvati da fizička teorija koja pretpostavlja postojanje fundamentalnih čestica ne pruža najbolje objašnjenje.¹¹ On može da prihvati drugu fizičku teoriju prema kojoj su procesi kvantnih polja osnovni elementi stvarnosti i da prihvati redukciju cele stvarnosti na njih. Na prvi pogled ovo može da zvuči kao krajnje jednostavno rešenje prigovora, koje ne bi ugrozilo reduktivni fizikalizam. Međutim, u prihvatanju kvantnih polja kao osnovnih konstituenata stvarnosti se krije još nešto. Fundamentalne čestice, koje budući

⁹ Više detalja o neuronskoj arhitekturi biće u sledećem poglavlju.

¹⁰ Atraktori predstavljaju vrednosti ka kojima sistem evoluirao bez obzira na raznovrsnost i broj početnih uslova. U slučaju neuronskog sistema atraktori su dinamička stanja neuronskih grupa koja su otporna na perturbacije i ka kojima se procesi unutar neuronskog sistema vraćaju.

¹¹ Džekson (*Frank Jackson*) smatra da se za fizičku partikulariju može uzeti „objekat, događaj ili bilo šta drugo...“ (*Jackson, 1998, str. 6*)

da su fundamentalne nemaju unutrašnju konfiguraciju (nisu deljive na sitnije elemente), svoju kauzalnu moć imaju isključivo kao zasebni entiteti, a spoljašnje međusobne relacije koje čine konfiguraciju nisu ništa drugo do granični uslovi bez ikakve sopstvene kauzalne moći. Za razliku od njih kvantna polja svoju kauzalnu moć imaju upravo u organizaciji njihovih odnosa. Zbog toga Kembel i Bickhard smatraju da nam je potrebna drugačija ontologija. „Potrebna nam je ontologija koja daje prioritet organizaciji, koja je inherentno relacionala.“ (*Campbell and Bickhard, 2011, str. 33*) „Budući da su holističke, konfiguracije su svojstva skupa konstituenata, kao što smo rekli iznad – ne samih konstituenata, niti bilo kojeg njihovog agregata.“ (*Campbell and Bickhard, 2011, str. 47*)

Kvantna polja su procesi¹² različitih opsega i kompleksnosti i ne postoje van konfiguracije i različitih obrazaca realizacije. U zavisnosti od toga kakva je konfiguracija ona mogu obuhvatati najrazličitije prostorno vremenske skale. Zbog toga u teoriji kvantnih polja ne postoji bazični nivo na koji bi se redukovali makro fenomeni, niti postoji striktna kauzalnost odozdo na gore. Postoje samo procesi koji predstavljaju dinamičke konfiguracije koje idu u oba smera, i odozdo na gore i odozgo na dole. Iz ovoga sledi da je i mikro nivo, poput makro nivoa, zasnovan na konfiguraciji procesa. Kako smatraju Kembel i Bickard, ovo pokazuje da je redukcionizam pogrešan. „Ako konfigurativnost čini svojstvo ili moć epifenomenom, onda je sve jedan epifenomen. Ovo je *reductio ad absurdum* ove pozicije“ (*Campbell and Bickhard, 2011, str. 49*)

Prema savremenim pristupima teorije dinamičkih sistema adekvatno objašnjenje svesti podrazumeva napuštanje dosadašnje ontologije koja pretpostavlja da partikularna osnova sveta ima jedina stvarnu kauzalnu moć, i prihvatanje nove ontologije koja kauzalnu moć daje različitim nivoima i koja u fundamentalnu osnovu postavlja polja u procesu. „Ontologiju koja prepoznaje nesvodivu ulogu organizacije u stvaranju novih svojstava i kauzalnih moći.“ (*Campbell and*

¹² Prema Kembelu procesi su kontinuum, unutar koga se mogu izabrati pojedine tačke u prostor-vremenu. Međutim, te tačke ne postoje kao zasebne partikularije (apsolutno), već postoje isključivo relativno, kao relacionala svojstva u kontinuumu. Pošto je polje kontinuum ono se ne može definisati kao skup tačaka, jer svaka izabrana tačka ima svoju implicitnu relaciju ontologiju. „Procesi su konstituisani od niza događaja. Procesima je potrebno vreme, a kao i samo vreme, oni su generalno kontinuirani. To nije poricanje da se određeni događaji mogu dogoditi u različitim fazama nekog složenog procesa, ali se sam proces ne može smatrati nizom takvih događaja. Misliti tako znači napraviti istu grešku kao kada se pretpostavlja da se kontinuum može konstruisati iz koncentracije tačaka.“ (*Campbell, 2009*)

Bickhard, 2011, str. 55) Prema njima je moguće da viši nivoi imaju kauzalnu moć koja se ne može redukovati na kauzalne moći konstituenata na nižim nivoima. Redukcija makro svojstava sistema na prost agregat konstituenata i njihovih relacija podložna je prigovoru koji se naziva problem kombinacija.

1.6. Problem kombinacija

Problem kombinacija se može predstaviti preko sledećeg pitanja. Kako je moguće da prosti zbir relacija mikrokonstituenata daje jedinstvenu celinu sa svojstvima koje ne sadrži ni jedan pojedinačan konstitutivni element? Toga je bio svestan i Vilijam Džejms (*William James*), pa je u *Principima psihologije* ukazao na problematičnost formiranja mentalnih stanja na višem nivou iz bazičnijih mentalnih stanja. Džejms piše sledeće: „Tamo gde elementarne jedinice treba da budu oseti, slučaj nije izmenjen. Uzmite stotinu njih, izmešajte ih i spakujte ih zajedno što možete bliže (šta god to značilo); ipak svaki ostaje isti oset kao što je uvek bio, zatvoren u svojoj koži, bez prozora, bez znanja o tome šta su drugi oseti i šta znače. Tu bi bio i sto prvi oset, ako bi, kada bi grupa takvih oseta bila podešena, trebalo da se javi svest koja pripada grupi kao takvoj. I ovaj sto prvi oset bi bio totalno nova činjenica; sto prvobitnih oseta bi, uz pomoć neobičnog fizičkog zakona, bili signal za njegovo stvaranje, kada se svi uzmu zajedno; ali oni ne bi imali suštinski identitet sa njim, a ni on sa njima, i nikada se ne bi mogli dedukovati jedni iz drugih, ili (u bilo kom razumljivom smislu) reći da su ga razvili.“ (*James, 1983, str. 162*)

Savremeni autori poput Elisa (*George F. R. Ellis*) takođe zastupaju autonomiju, ali ne i potpunu samostalnost, sistema na višim nivoima organizacije. „Ideje koje se mogu primeniti na kauzalnost na nižim nivoima ne uspevaju same da objasne ponašanja na višim nivoima, jer primenjeni pojmovi jednostavno nisu odgovarajući za vrste kauzalnosti na višim nivoima.“ „...dok niži nivoi uopšteno ispunjavaju nužne uslove za ono što se dešava na višim nivoima, oni samo ponekada (veoma retko u kompleksnim sistemima) obezbeđuju dovoljne uslove.“ (*Ellis, 2012, str. 127*)

1.7. Kauzalna emergencija

Emergentizam dozvoljava da se kauzalna moć prenese na više nivoe, ali to ne mora nužno da narušava kauzalnu zatvorenost fizičkog sveta. Ukoliko je prihvatimo ona će narušiti kauzalnu zatvorenost mikro fizičkog sveta, ali će fizički svet ostati kauzalno zatvoren na nivou na kome se

proizvodi najveća kauzalna moć. U radu „*Quantifying causal emergence shows that macro can beat micro*“ Tononi, Albantakis, Hoel (Tononi, Albantakis, Hoel, 2013) predstavljaju jedinstvenu argumentaciju u prilog emergencije i ontologije koja proizilazi iz nje. Koristeći statistički model pokazuju da je moguće da se celokupan kauzalitet ne iscrpljuje na mikro već na makro nivou. Preko pojma *CE* (kauzalne emergencije) pokazuju kako celina može imati veću kauzalnu moć od sume delova, a samim time biti nešto više od delova. Tako posmatrano samo je celina kauzalno delotvorna. Kauzalna delotvornost celine ne podrazumeva da je uvek ceo sistem kauzalno delotvoran, već da u kompleksnom integrisanom sistemu uvek postoje veliki delovi, nekada i ceo sistem, koji imaju veću kauzalnu delotvornost od zbira pojedinačnih elemenata. Time se ukazuje na postojanje kauzalne emergencije, gde postoji veća kauzalna moć na višim nivoima sistema u odnosu na niže nivoe. Sa druge strane Tononi, Albantakis i Hoel ne žele da kažu da su mikro nivoi i njihova kauzalna delovanja nevažni. Prema njima niži nivoi (mikro stanja) predstavljaju osnovu kauzalnih delovanja ali se u okviru njih ne iscrpljuje celokupan kauzalitet sistema. Što je još važnije, na ovaj način fizički svet uvek ostaje kauzalno zatvoren na onom nivou koji ima najveću kauzalnu moć.

Iz ovoga sledi da emergentizam dozvoljava kauzalni uticaj viših nivoa na niže nivoe, što je kako smo videli u potpunosti neprihvatljivo za redukcionizam. Elis (*George Ellis*) navodi da se kroz empirijske primere mogu videti 5 različitih klasa kauzalnih uticaja odozgo na dole: algoritamska kauzalnost odozgo na dole, kauzalnost odozgo na dole putem neadaptivne informacione kontrole, kauzalnost odozgo na dole putem adaptivne selekcije, kauzalnost odozgo na dole putem adaptivne informacione kontrole, i inteligentna kauzalnost odozgo na dole (delovanje ljudskog duha na fizički svet). (*Ellis, 2012*)

Za predmet istraživanja ovog rada najvažniji su primeri kauzalnosti koji se mogu pronaći u kompleksnim biološkim sistemima. Primer dejstva oba smera kauzalnosti možemo naći u načinu funkcionisanja organizma.¹³ „Dok je ponašanje celine, do određenog stepena, ograničeno svojstvima njenih komponenata – ‘uzlazna uzročnost’ – ponašanje komponenata je takođe ograničeno do određene mere svojstvima sistema. Ponašanje ćelije, na primer, je kontrolisano i

¹³ Diferencijacija ćelija u procesu razvoja pokazuje kako pojedinačne ćelije preuzimaju predviđene uloge (npr. postaju motorni neuroni ili mišićne ćelije srca) u zavisnosti od konteksta celog tela i drugih ćelija. Tu jasno možemo da vidimo delovanje viših nivoa sistema na niže. (*Ellis, 2012*)

svojstvima makromolekula i svojstvima organa čijeg je deo.” (*Mazzocchi, 2008, str. 12*) Moreno i Umerez pokazuju kako su u izgradnji proteina na delu i uzlazna i silazna kauzalnost. Ćelijska molekularna organizacija se može razumeti samo ukoliko razumemo i kolektivnu dinamiku u kontekstu istorije organizma. Komponente unutar ćelije i organizma se modifikuju i grade kroz mrežu rekurzivnih reakcija koje ih grade. „...mnoge od ovih komponenti mogu da opstanu samo kao posledica rekurzivnog održavanja cele mreže.“ (*Moreno and Umerez, 2000, str. 110*) „Do sada smo pokušali da pokažemo kako se ova specijalna silazna (*downward*) vrsta kauzalnosti pojavljuju samo kada veoma kompleksne (prepletene) meta-mreže rekurzivne mreže reakcija nastaju u prirodi.“ (*Moreno and Umerez, 2000, str. 115*)

Dakle, svest je relaciono svojstvo i zavisna je od mreže kauzalnih relacija među konstituentima unutar sistema, a ne samo od njihovih pojedinačnih izolovanih svojstava. (*Campbell, 2009*) Koliko je relaciona priroda kauzalnih odnosa važna za svest pokazuju i klinička ispitivanja. Dokazano je da cerebelum koji sadrži oko 2/3 svih neurona unutar mozga (*Herculano-Houzel, 2009*), nije nužan za nastanak i održavanje svesnog iskustva. (*Yu, Jiang, Sun and Zhang, 2015*) Njegovu arhitekturu karakteriše velika lokalna povezanost, ali veoma mala kauzalna povezanost sa daljim delovima cerebeluma i neuronskog sistema uopšte. Iz tog razloga promene koje se dešavaju unutar cerebeluma mahom ostaju lokalnog karaktera. Abeles (*Moshe Abeles*) iznosi evolucionu pretpostavku podržanu empirijskim istraživanjima, prema kojoj se svest kao svojstvo javila usled drastičnog povećanja broja sinapsi i brže i intenzivnije komunikacije među udaljenim kortikalnim područjima. (*Abeles, 1991*) Još jedan od pokazatelja koliko je struktura kauzalnih odnosa među konstitutivnim elementima važna za globalno sistemsko ponašanje je plastičnost mozga. Samo zahvaljujući plastičnosti mozga, neprekidnoj promeni relacija među elementima, su mogući učenje, memorija, adaptacija i konačno svest. (*Baars and Gage, 2010*) (*Sur, Angelucci and Sharma, 1999*)

Ovaj rad kao glavni zadatak ima objašnjenje svesti koristeći se pojmovima i okvirima teorije dinamičkih sistema. Videćemo kako i na koji način strukturalna povezanost i relaciona konfiguracija osnovnih jedinica (neurona), utiču na nastanak svesnog iskustva kao i na njegov kvalitativni aspekt. Kako teorija dinamičkih sistema pokazuje, samo sistemi dovoljno velike kompleksnosti su u stanju da formiraju odgovarajuće kauzalne konfiguracije koje konstituišu globalno sistemsko svojstvo. (*Olaf Sporns, 2010*) Jedan od empirijskih pokazatelja da promena u

kauzalnoj konfiguraciji dovodi do promene u fenomenalnom iskustvu dobijen je posebnom optogenetičkom tehnikom inhibiranja neurona. U slučajevima kada su delovi kauzalne strukture isključeni iz sistemske kauzalne konfiguracije smanjen je repertoar svesnih stanja. To se može videti na primeru inhibicije neurona čija je glavna uloga prepoznavanje boje. Subjekti kod kojih su ovi neuroni inhibirani su ispoljavali ahromatopsiju, delimičnu ili potpunu nesposobnost da prepoznaju boje. Ukoliko bi im se na primer pokazala crvena jabuka, oni ne bi rekli da vide sivu jabuku, već da uopšte ne vide boju. (*Cohen and Dennett, 2011*)

U ovom radu ja ću zastupati tezu koja se oslanja na savremeni emergentizam, gde ću braniti poziciju svesti kao emergentnog fenomena čije objašnjenje prevazilazi objašnjenje delovanja osnovnih elemenata sistema (neurona), već zahteva razumevanje globalnih interakcija koje nastaju na nivou celog sistema. Pogled na svest koji ne bi sadržao teorijske okvire i pojmove teorije dinamičkih sistema imao bi nedovoljnu eksplanatornu snagu.

2.

Dinamički sistemi i problem svesti

2.1.

Emergencija u dinamičkim sistemima

2.1.1. Samoorganizujuća kritičnost

U promenljivom okruženju, kakav je fizički svet, kognitivni procesi se ne mogu u potpunosti razumeti samo koristeći klasične pojmove poput moždanih ritmova. Kognitivni procesi su u svojoj suštini visoko varijabilni i nelinearni. U poslednje dve decenije u fokus je stavljena ideja da se razumevanje mentalnih događaja i kognitivnih aktivnosti može objasniti koristeći principe nelinearne dinamike. (*Rabinovich, 2008*)

Objašnjenje svesti podrazumeva razumevanje šireg konteksta u kome ona nastaje. Pošto je mozak organ koji je nastao kroz proces prirodne selekcije, kontekst podrazumeva razumevanje okruženja i zakonitosti koje u njemu vladaju. Dosadašnja istraživanja ukazuju na zajedničke karakteristike neuronskog sistema i najrazličitijih nivoa fizičkog sveta. Kako bi preživeo, mozak mora da se prilagodi okruženju. Njegov bazični način funkcionisanja mora biti u skladu sa osnovnim svojstvima sveta. Pošto je fizički svet u svojoj suštini nelinearni dinamički sistem koji funkcioniše na granici kritičnosti, pretpostavlja se da i mozak ispoljava iste osobine i funkcioniše na isti način. „Skoro sve u svetu je nelinearno, pa je ‘Nelinearni svet’ sam svet.” (*Oono, 2013*).

Kompleksnost neuronskog sistema nalazi svoje poreklo u načinu na koji je organizovana sama priroda. U svom radu „Samoorganizujuća kritičnost” (*Self Organized Criticality*) iz 1987, trojica fizičara Per Bak, Čao Tang i Kurt Vizenfeld (*Per Bak, Chao Tang, Curt Wiesenfeld*) formulišu pojam samoorganizujuće kritičnosti (*SOC*), koji predstavlja mehanizam na osnovu koga jednostavne spontane interakcije mogu biti izvor prirodne kompleksnosti. Njihova teorija pokušava da nađe zajednički princip za sva dešavanja u prirodi u koje spada i aktivnost neuronskog sistema. „Kompleksni fenomen koji je svuda opažen, ukazuje da priroda operiše u samoorganizujućem kritičnom stanju”. (*Bak, 1996*)

Postoji više različitih definicija kompleksnosti (u odeljku o integraciji je bilo reči o tome), a Per Bak ih određuje kao: „Ja ću definisati sisteme sa velikom varijabilnošću kao kompleksne” (*Bak, 1996*) Svet se sastoji iz jednostavnih osnovnih jedinica poput atoma ili kvarkova i determinisan je zakonima definisanim u teorijama poput kvantne mehanike ili teorije relativiteta. Najveći izazov sastoji se u objašnjenju kako se, iz naizgled jednostavnih zakona i prostih elemenata, formiraju kompleksni događaji i strukture. To se može formulirati i u sledećem obliku. „Kako se varijabilnost javlja iz prostih nepromenljivih zakona?” (*Bak, 1996*)

U osnovi kompleksnih fenomena, koji se nalaze na višem nivou, nalaze se fizički mehanizmi koji funkcionišu na dubljem nivou. Kompleksnost sa sobom donosi nešto kvalitativno drugačije u odnosu na proste elemente. „Kvalitet, na neki način, nastaje iz kvantiteta, ali kako?” (*Bak, 1996*) „Kao što je pokazano ovde, u kompleksnim sistemima novi pojmovi moraju da transcendiraju čisto mikroskopski opis sistema.” (*Kelso, 1995*)

Per Bak smatra da samoorganizujuća kritičnost može biti osnovni princip koji objašnjava kako nastaje kompleksnost, odnosno kako se iz jednostavnih mikro svojstava dobijaju kompleksni makro fenomeni. Važno je napomenuti da sistemi u potpunom balansu, ekvilibrijumu ne ispoljavaju svojstvo kompleksnosti. U njima nema promene stanja i razmene informacija. U prirodi postoji veliki broj primera sistema koji se nalaze u balansu pa se postavlja pitanje kako onda priroda obiluje tolikom varijabilnošću i kompleksnošću. Ovo nas dovodi do pojma koji je od suštinske važnosti za razumevanja dinamike kompleksnosti sistema, a to je tačkasti ekvilibrijum.

Gould i Eldridž (*Gould and Eldridge*) iznose novo viđenje evolucionih promena koje je suprotstavljeno filetičkom gradualizmu prema kome su evolucionarne promene spore i postepene. Prema njima ekvilibrijum je samo miran period, zastoj, između perioda u kojima se događaju manje i veće promene. U tim periodima koji dolaze pre ili posle stanja mirovanja i balansa, dolazi do izumiranja velikog broja vrsta i javljanja novih. U tim periodima dolazi do najvećih evolucionih promena. (*Gould and Eldridge, 1977*)

Ideja tačkastog ekvilibrijuma se može primeniti za opis evolucije bilo koje vrste sistema. Jedan od najčešće korišćenih primera za prikaz modela tačkastog ekvilibrijuma je ponašanje gomile peska. U jednom trenutku gomila peska se nalazi u balansu, da bi zatim došlo do iznenadnog obrušavanja i klizišta. Zamislimo situaciju u kojoj dodajemo zrno po zrno peska na sto koji ima ravnu površinu. Na početku će zrna biti rasuta širom ravne površine. Postepenim

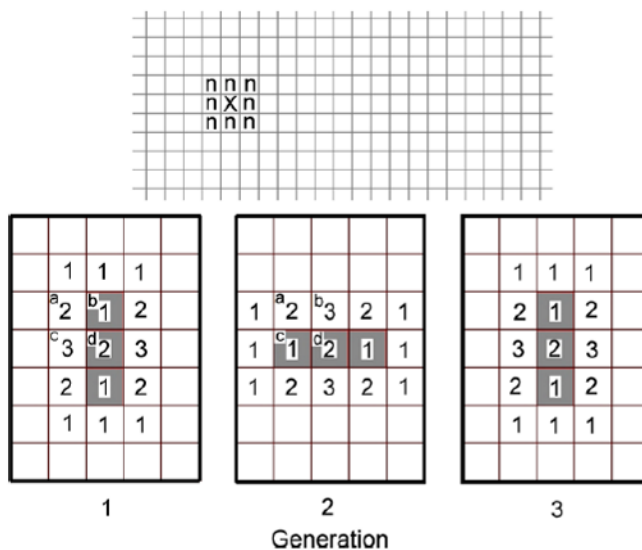
dodavanjem formiraće se gomila koja nalazi se u stanju ekvilibrijuma. U tom trenutku sistem poseduje minimalnu energiju. Dodavanjem sve više zrna gomila će postajati viša i strmija i postepeno će dolaziti do pojave klizišta. Do klizišta dolazi usled domino efekta kada jedno ili nekoliko zrna peska vrši pritisak na zrna u svom susedstvu koja dalje nastavljaju da vrše pritisak na svoje susede. Svako dodato zrno vrši manje lokalne poremećaje ali ne utiče na druga zrna u udaljenim delovima gomile. Gomila peska je i dalje samo skup velikog broja pojedinačnih zrna i ne postoji globalna komunikacija među njima. Tokom vremena visina gomile raste i zrna počinju da imaju sve veći uticaj na lokalno okruženje. Sve je veća pojava lokalnih odrona. U pojedinim slučajevima doći će do odrona i lavina koji će zahvatiti celu gomilu. Tada će se gomila peska nalaziti u kritičnom stanju. „Dodavanje zrna peska je transformisalo sistem iz stanja u kome individualna zrna prate sopstvenu lokalnu dinamiku do kritičnog stanja gde je emergentna dinamika globalna”. (Bak, 1996)

Gomila peska funkcioniše kao sistem u stacionarnom stanju čija se unutrašnja energija održava zahvaljujući otvorenosti tog sistema, jer se iznova dodaju zrna. Upravo ta otvorenost sistema omogućava sistemu da bude u kritičnom stanju. U suprotnom bi sistem tokom vremena došao do stanja ekvilibrijuma, što bi uzrokovalo prekid komunikacije unutar sistema. Velika klizišta ili lavine omogućavaju da iz kvantiteta (gomilanja pojedinačnih zrna peska), nastane novi kvalitet (lavine i odroni kao svojstvo sistema koje se ne javlja kod pojedinačnih zrna). Iako najčešće upotrebljavana kao primer na osnovu koga se objašnjava kritičnost, istraživanja su pokazala da gomila peska ne pokazuje u potpunosti svojstvo kritičnosti. Zbog fizičkih karakteristika zrna ispostavilo se da gomila pirinča najvernije prikazuje kritičke procese. (Frette, Christensen, Malthe-Sorensen, Feder, Jossang and Meakin, 1996)

Primer kritičnog procesa kod gomile peska se tiče „mrtve“ materije, sistema koji ne funkcioniše kao što funkcionišu živi organizmi. Da li je samoorganizujuća kritičnost svojstvo koje možemo naći i u biološkim sistemima? Osnovna pretpostavka koju zastupa Per Bak je da je kritičnost zajednički proces koji leži u osnovi materijalnog sveta. Ona povezuje i neživu prirodu, događaje poput zemljotresa i evoluciju života na zemlji. Gde god postoji kompleksnost u prirodi postoje i kritični procesi. „Kompleksnost, kao kod ljudskih bića, koja se može posmatrati lokalno u sistemu, je lokalna manifestacija globalnog kritičnog procesa. Nijedno od nekritičnih pravila ne proizvodi kompleksnost. Kompleksnost je posledica kritičnosti” (Bak, 1996)

2.1.2. Igra života

Da je samoorganizujuća kritičnost opšti princip u nelinearnim dinamičkim sistemima možemo da prikažemo i preko simulacije koju je izveo poznati matematičar Džon Konvej (*John Conway*). Simulacija je poznata pod imenom igra života (*game of life*), i predstavlja ćelijsku automatu. „Karakteristika automata je da imaju stanja i pravila koja odlučuju da li i kako se menja njihovo stanje tokom vremena. Sve ćelije koje čine ćelijsku automatu istovremeno menjaju svoja stanja u zavisnosti od stanja njihovih suseda u rešetki u kojoj su postavljeni.” (*Adamatzky, 2010, str. 18*) Generalno ćelije mogu biti u neograničenom broju stanja, a najjednostavnije ćelijske automate sadrže dve moguće vrednosti, binarne su. Igra života pokazuje kako sistem evoluira tokom vremena i kako na osnovu jednostavnih pravila sistem može da prolazi kroz veliki broj stanja koje ne možemo na samom početku predvideti.



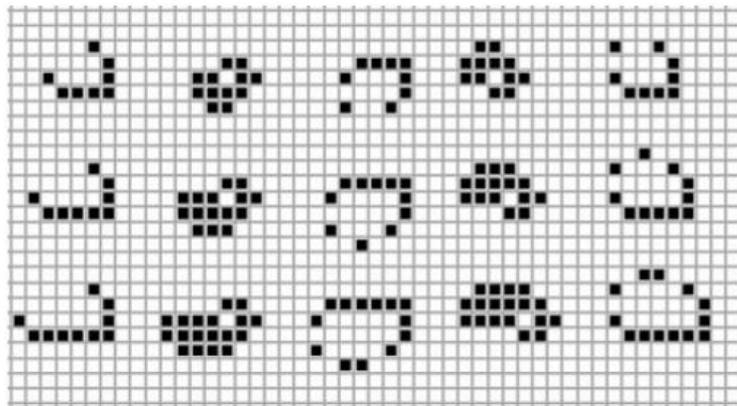
Slika 2.1 (*Adamatzky, 2010, str. 18*)

Igra života, kako ju je prvobitno konstruisao Konvej, predstavlja uprošćen model prikazivanja samoorganizujuće kritičnosti i sastoji se od dvodimenzionalne rešetke. (slika 2.1) Igru je moguće konstruisati tako da sadrži neograničeni broj dimenzija. Iako veći broj dimenzija donosi dosta veću kompleksnost, dvodimenzionalna ćelijska automata je sasvim dobar primer i metafora za objašnjenje nastanka i evolucije života. Igra života bi trebalo da pokaže da je za evoluciju dovoljno bilo samo početno stanje i da je svaka dalja promena proizilazila iz prethodnog stanja. Nema potreba za dodatnom regulacijom ili aktivnošću. Jednom započeta igra života se može odvijati beskonačno. Originalno je Džon Konvej igru života konstruisao u vidu

dvodimenzionalne rešetke pravugaonog oblika gde ćelije mogu da imaju dva stanja. Susedstvo je definisano tako da sadrži devet ćelija, gde osam ćelija okružuje centralnu. Pravila prema kojima nastaje život i dolazi do evolucije su definisana na sledeći način:

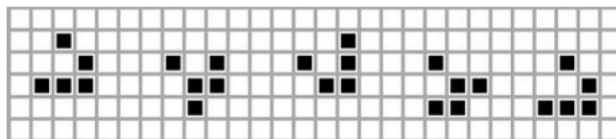
- Živa ćelija preživljava ukoliko ima dva ili tri živa suseda
- Nova ćelija se rađa kad god ima tri živa suseda
- Sve druge ćelije ili umiru ili ostaju neaktivne

Igra života pokazuje da kompleksni fenomeni mogu biti proizvod jednostavnih pravila. Gore navedena pravila mogu prizvesti veći broj različitih kompleksnih struktura. Neke od mogućih struktura su *still life*, *oscillator-i* i *spaceship-ovi*. Primer *spaceship* konfiguracije možemo videti na slici 2.2.



Slika 2.2 (Adamatzky, 2010, str. 23)

Uobičajen tip *spaceship* konfiguracije predstavljaju *glider-i*. Primer prostog *glider-a* možemo videti na slici 2.3 Karakteristka *glider-a* je da predstavljaju strukture koje se samoreprodukuju i tokom vremena se prenose dijagonalno preko rešetke.



Slika 2.3 (Adamatzky, 2010, str. 22)

„Ove strukture koje se šire, nastaju na nivou mreže iz jedne početne konfiguracije aktivnih ćelija i šire se, dok periodično uspostavljaju početnu konfiguraciju. Ovo omogućava da se informacija prenosi sa velikom preciznošću unutar sistema.” (Plenz and Niebur, 2014, str.30)

Dinamika takvog ponašanja ostaje nepromenjena sve dok konfiguracija ne naleti na ćeliju koja bi poremetila dotadašnje ponašanje.

Igra života u kojoj važe pravila koje je Konvej postavio pokazuje karakteristike sistema koji se nalazi u kritičnom stanju. Takav sistem u pojedinim slučajevima može proizvesti veliki broj kompleksnih struktura. Ukoliko igru započnemo nasumičnim izborom vrednosti ćelija, konfiguracije će se menjati sve dok ne dođu u stanje mirovanja i sistem bude u statičkoj konfiguraciji. Takva konfiguracija će u sebi sadržati nepromenljive strukture i repetitivne *blinker-e*. Dodavanjem ili oduzimanjem vrednosti statičkom sistemu doći će do ponovne aktivnosti i promena konfiguracija.

Ovde možemo povući paralelu sa gomilom peska i situacijom kada se na nasumično mesto na gomili dodaje jedno zrno. Posledica dodavanja vrednosti ćeliji može biti izumiranje živih ćelija usled prenaseljenosti populacije ili nasuprot tome može dovesti do nastanka novog života, ukoliko broj živih ćelija u tom okruženju prilikom dodavanja poraste sa dve žive ćelije na tri. Usled ovih dešavanja sistem će prolaziti kroz različite faze i konfiguracije. Aktivnost će usloviti javljanje *glider-a*, *oscillator-a* sve dok se posle većeg ili manjeg broja dešavanja ne zaustavi u statičkoj konfiguraciji. Sa dodavanjem ili oduzimanjem individua doći će do ponavljanja navedenog procesa.

Ovakav sled događaja nedvosmisleno podseća na primer sa gomilom peska, gde dodajući pojedinačna zrna izazivamo lavine. Zato možemo reći da i u slučaju igre života, dodavanje ili oduzimanje individue dovodi do pojave lavine. „Proces koji počinje kada je dodata ili uklonjena nova individua i koji prestaje kada je dosegnuta statička konfiguracija se naziva lavina.” (*Bak, 1996, Str.109*) U slučaju igre života veličina lavine će biti određena ukupnim brojem rođenja i umiranja individua, koji obuhvata vremenski interval od početka lavine pa do njenog zaustavljanja. Vreme trajanja lavine t određeno je ukupnim brojem koraka. Uobičajeno je da je vrednost veličina lavine s veća od vrednosti dužine njenog trajanja t , pošto prilikom jednog koraka može istovremeno dogoditi više rađanja i umiranja. Kritičnost igre živote se može videti i preko distribucije veličine lavina, koja predstavlja *power law*.

Kritičnost u igri života u potpunosti je zavisna od pravila koje vladaju u njoj. Ispostavilo se da, osim Konvejevog modela dvodimenzionalne ćelijske automate, do sada nije pronađen ni jedan dodatni model koji bi imao osobinu kritičnosti. Karakteristika sistema koji poseduju samoorganizujuću kritičnost je da kritičnost dolazi kao posledica samoorganizacije sistema. U

slučaju igre života Džon Konvej je tvorac, programer koji je iz ogromnog broja mogućih pravila izdvojio ona koja dovode sistem do kritičnog stanja. Proizvod pravila, koja bi prevazilazila kritičnost, vodila bi u haotično stanje u kome ne bi bio moguć nastanak kompleksnih fenomena. Nasuprot ovome, pravila koja bi dovodila sistem ispod kritičnog stanja bi proizvodila proste strukture koje bi posedovale zanemarljiv nivo kompleksnosti ili ga ne bi posedovale uopšte.

Per Bak smatra da se svesni procesi mogu objasniti na sličan način kao i procesi u materijalnim sistemima. Stimulusi koje dobijamo iz okruženja mogu biti okidači koji će izazvati kritični proces, ali isto tako oni mogu biti pokrenuti intrinzičnim aktivnostima sistema. Kritičnost dovodi do neuronskih lavina, čime se ostvaruje komunikacija između rasprostranjenih područja neuronskog sistema. Pojedinačni neuroni se integrišu u grupe neurona, koje se zatim integrišu sa drugim grupama neurona i na kraju dolazi do globalne moždane integracije.

Razumevanje funkcionisanja mozga i nastanka svesnog iskustva prevazilazi razumevanje pojedinačnih neurona. Podjednako je važan, ako ne i važniji, način njihove međusobne funkcionalne povezanosti. Mozak konstantno dobija ogroman broj informacija iz okruženja koje se neprekidno menja. Da bi se prilagodio i odgovorio na zahteve koje okruženje nameće mozak mora da bude u neprekidnom procesu samoorganizacije. „Stoga, da bismo razumeli kako mozak funkcioniše, važno je razumeti proces samoorganizacije. Nije dovoljno rastaviti mozak u nekom određenom trenutku i mapirati sve postojeće konekcije, kao što ne možemo razumeti gomilu peska tako što ćemo napraviti mapu svih zrna u nekom datom trenutku.” (*Bak, 1996*)

Stimulus iz okruženja može na neuronski sistem uticati na nekoliko načina. Ukoliko bi izazvao razmenu informacija samo u okviru senzornih grupa neurona, tada bismo govorili o subkritičnom stanju. Informacija bi bila razmenjena samo na lokalnom nivou a grupe neurona u većem delu mozga bi ostale van domašaja ulazne informacije. U slučaju kada bi ulazni signal uticao na razmenu informacija u gotovo svim delovima mozga, sistem bi bio u superkritičnom stanju. Ulazna informacija bi izazvala lančanu reakciju, gde bi došlo do aktiviranja svih, ili gotovo svih neuronskih grupa. Nešto slično se dešava prilikom epileptičnih napada kada dolazi do prekomerne sinhronizacije aktivnosti ogromne populacije neurona.

Za kompleksnost je potrebno da sistem bude konstantno na granici kritičnosti, gde mala narušavanja u sistemu dovode do stanja kritičnosti i rasprostranjene komunikacije unutar sistema. Da bi sistem bio selektivan i imao širok repertoar odgovora potrebno je da unutar njega

istovremeno vladaju tendencije segregacije i integracije. Upravo to je moguće kada se sistem nalazi u kritičnom stanju.

Mozak možemo posmatrati kao kompleksni nelinearni dinamički sistem. Misli, ponašanje, namere, raspoloženja, emocije itd. su rezultat njegovog delovanja u blizini tačke kritičnosti. Kada sistem dođe u kritično stanje moguće je dobiti ogroman bihevioralni repertoar iz dosta manjeg broja specijalizovanih moždanih područja. Istovremena tendencija neuronskog sistema za integracijom i segregacijom karakteristična je za nelinearne dinamičke sisteme. To možemo videti prilikom tranzicije faze iz uređenog u haotično stanje. Kritično stanje se nalazi između haosa i potpuno uređenog stanja. U potpuno uređenom stanju sistem ne prolazi ni kroz kakve promene. Nasuprot tome, u stanju haosa sistem prolazi kroz konstantnu promenu i takav sistem ne može da sadrži „sećanje“ prethodnih stanja. Dante Kialvo (*Dante Chialvo*) smatra da se opšti zaključci analize svojstava dinamičkih nelinearnih sistema, poput magnetizma kod feromagnetnih materijala, mogu primeniti i na mozak.

Tranzicija faze u tački kritičnosti je zajednička za sve nelinearne sisteme. Ona omogućava sistemu da uspostavi razmenu informacija između njegovih najudaljenijih elemenata, iako su interakcije među elementima sistema lokalnog karaktera. „Važno je naznačiti da ne postoje drugi uverljivi dinamički scenariji ili snažni atraktori za koje znamo da ispoljavaju ova dva svojstva istovremeno.” (*Chialvo, Balenzuela and Fraiman, 2008*).

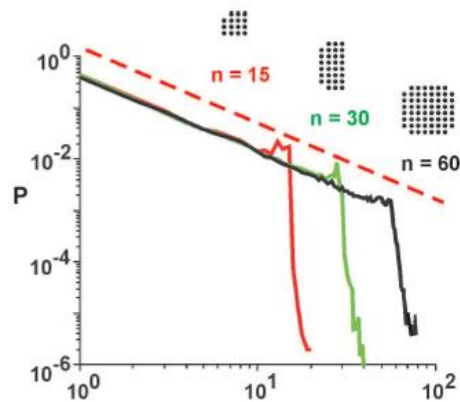
Pretpostavka da se mozak nalazi u stanju kritičnosti počiva na tome što on kao objekat pripada fizičkom svetu koji je kritičan. Svoju morfologiju i funkcionalnost mozak duguje dugačkom procesu evolucije koji takođe pokazuje karakteristiku kritičnosti. Da je svet oko nas subkritičan on bi bio u neprekidnom stanju balansa i promene stanja ne bi bile moguće. Ako bi se nalazio u superkritičnom stanju dešavala bi se konstantna promena pa zadržavanje bilo kakvih informacija o prethodnim stanjima ne bi bilo moguće.

Pošto fizički svet nije nepromenljiv i statičan, sistem koji ga analizira i koji mu se prilagođava takođe treba da ispoljava iste karakteristike. U subkritičnom mozgu strukturalna i funkcionalna povezanost su izuzetno jake, što onemogućava izmenu i zadržavanja bilo kakvih novih informacija. Jednom formirana memorija bi bila jedino stanje u neuronskom sistemu. Sa druge strane u superkritičnom mozgu obrasci neuronskih aktivnosti prolaze kroz neprekidne promene, što znači da se ne mogu proizvesti dugoročnije i jače međusobne relacije. Superkritičan mozak ne bi mogao da zadrži bilo kakvu informaciju, odnosno da poseduje dugoročnu memoriju.

„U ovim uslovima ne bi bilo moguće učiti.” (Chialvo, Balenzuela, Fraiman, 2008). Kritičnost omogućava mozgu da poseduje dugoročnu memoriju i uči.

2.1.3. Power law distribucija kao pokazatelj kritičnosti

Ekperimenti koji je sproveo Dietmar Plenz (Dietmar Plenz) pokazuju da neuronski sistem funkcioniše u kritičnom stanju. Rezultati istraživanja ukazuju na specifičnu električnu aktivnost među kortikalnim neuronima. Karakteristika novootkrivene aktivnosti je da se nalazi između sinhronizovanih koherentnih aktivnosti i asinhronih nekoherentnih aktivnosti. Takve aktivnosti se nazivaju neuronskim lavinama. Kod neuronskih lavina, kao i kod pešćanih lavina, postoji korelacija između veličine lavina i učestalosti njenog javljanja. Veća je verovatnoća javljanja manjih lavina na lokalnom nivou od velikih koje obuhvataju celu gomilu peska, odnosno neuronski sistem. Odnos veličine lavina i učestalosti njihovog javljanja prati *power law* sa približnom vrednošću eksponenta $-3/2$.



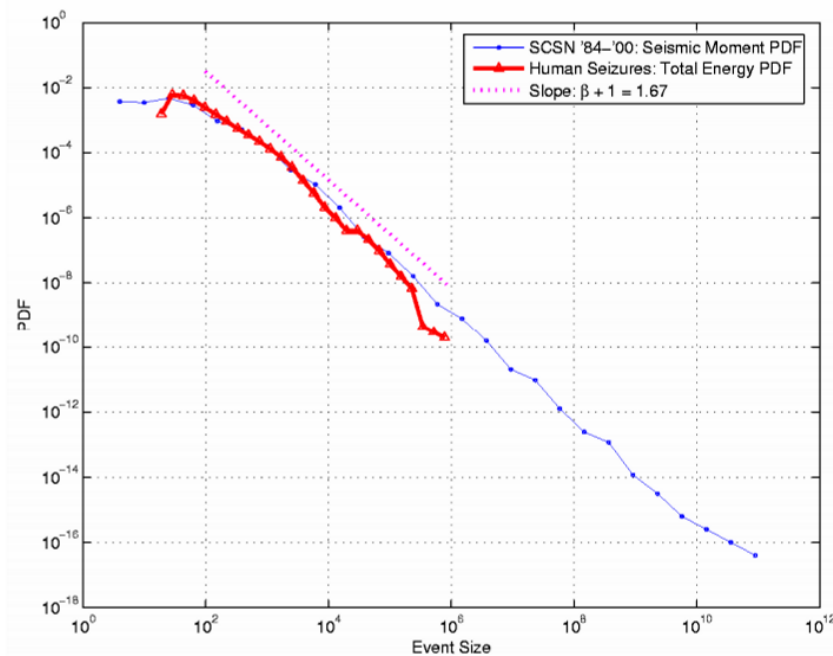
Slika 2.4 (Chialvo, Balenzuela and Fraiman, 2008, str. 7)

Na slici 2.4 je prikazana distribucija lavina u kortikalnim mrežama. Vertikalna osa prikazuje verovatnoću događaja neuronskih lavina. Horizontalna osa predstavlja broj elektroda koje su obuhvaćene lavinom. Prikazana distribucija je prosek dobijen iz istraživanja koje je obuhvatalo 7 različitih kortikalnih mreža i stotine hiljada neuronskih lavina. Za prikupljanje podataka su korišćena tri skupa, od 15, 30 i 60 elektroda. Crvena isprekidana linija prikazuje nagib koji prati *power law* i koji važi za sve skupove elektroda (crvena kriva prikazuje distribuciju zabeleženu skupom od 15 elektroda, zelena distribuciju zabeleženu skupom od 30 elektroda, a crna distribuciju zabeleženu skupom od 60 elektroda). Nagli pad krive zavisi od

broja elektroda koji je korišćen za prikupljanje podataka. Što je veći broj elektroda to kriva ima blaži pad.

Power law distribuciju možemo videti u mnogobrojnim moždanim stanjima, od stanja budnosti do epileptičnih napada. Analiza podataka je pokazala da postoji velika sličnost između epileptičnih napada koji prate *power law* i zemljotresa čija je statistička osobenost formulisana u vidu Gutenberg-Rihterovog (*Gutenberg-Richter*) zakona. Gutenberg-Rihterov zakon izražava statističku zavisnost jačine zemljotresa i učestalosti njegovog dešavanja.

Velike lavine, koje obuhvataju više neuronskih grupa, proizvode u bliskom vremenskom intervalu manje lavine, koje potom proizvode još manje lavine. Širenje lavina se odvija tako da je svaka naredna lavina manje veličine. Zakonitost po kojoj manje lavine prate početnu, glavnu lavinu, je opisana Omori zakonom koji opisuje stopu opadanja lavina nakon početne glavne lavine. Zakon je formulisao japanski seizmolog Fusakiči Omori (*Fusakichi Omori*) da bi objasnio činjenicu da iza glavnog udara sledi nekoliko manjih. Stopa opadanja veličine zemljotresa se može označiti sa R i takođe prati *power law*. Stopu možemo predstaviti u vidu jednačine: $R \approx T^\beta$, gde T označava vreme koje prošlo od poslednjeg zemljotresa, a β eksponent koji iznosi približno 1. Eksponent kod *power law* distribucije može imati različite vrednosti. Kao što smo videli kod zemljotresa eksponent ima vrednost 1 a kod neuronskih lavina 3/2.



Slika 2.4 (Osorio, Zaveri, Frei, Arthurs, 2011, str. 217)

Na slici 2.4 možemo videti poređenje distribucije zemljotresa i epileptičnih napada. U slučaju zemljotresa korišćeni su podaci *SCSN (Southern California Seismic Network)* u periodu od 1984-2000, a u slučaju epilepsije podaci dobijeni snimanjem epileptičnih napada kod 60 subjekata. Funkcija gustine verovatnoće (*PDF-probability density function*) pokazuje isti ugao nagiba kod zemljotresa kao i kod epileptičnih napada (prati *power law*).

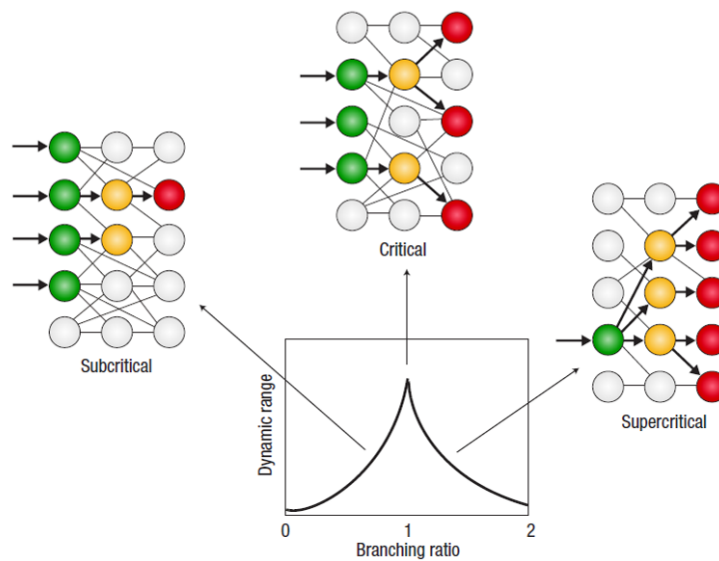
Za epileptične napade kao i za zemljotrese važi stohastički scenario. Ne može se precizno utvrditi kada će se dogoditi, koliko će trajati, i koliko će jak napad biti. „Predviđanje tačnog vremena događaja izazvanog nasumičnim fluktacijama je uzaludan zadatak”. (*Osorio, Zaveri, Frei, Arthurs, 2011*). Ono što se može pretpostaviti je da će statistička distribucija napada pratiti *power law*. Postojeće jasna korelacija između energije napada i njegove frekvencije. Epileptične napada karakteriše povećanje amplitude ili ritma neuronskih oscilacija. Povećanja se uobičajeno dešavaju u manjim moždanim područjima da bi se na kraju proširila na ceo mozak. Slično vidimo i u dinamici zemljotresa. U oba slučaja reč je o iznenadnim aperiodičnim dešavanjima, koje možemo okarakterisati kao događaje relaksacije u kojima dolazi do pražnjenja nagomilane energije. Kritičnost omogućava da se vremenom akumulirana energija isprazni u jednom katastrofičnom događaju. U tom slučaju dolazi do sveopšte komunikacije i integracije celog sistema.

Ne samo da mozak funkcioniše na granici kritičnosti prilikom epileptičnih napada, već je to njegov uobičajeni režim funkcionisanja. Dodatni pokazatelj da mozak funkcioniše u stanju na granici kritičnosti je senzorni sistem. Čula nam omogućavaju da opazimo svet oko nas i da mu se prilagodimo. Bez njih ne bi bilo moguće imati bilo kakvu vezu sa spoljašnjim svetom, a ukoliko ih ne bismo imali od samog rođenja ne bi bio moguć razvitak neuronskog sistema, a samim tim ne bi bio moguć ni nastanak svesti. Odnos čula sa spoljašnjim svetom je statističke prirode. To znači da se dešavanja u spoljašnjem svetu moraju preneti na adekvatan način, kako bi organizam mogao da se prilagodi.

Statistička distribucija događaja i svojstava unutar fizičkog sveta je u potpunosti raznolika. Bogatstvo sveta na mikro i makro nivou čini tu distribuciju neujednačenom. „Razmotrimo prvo činjenicu da je gustina distribucije različitih formi energije oko nas očigledno nehomogena, na bilo kom nivou biološke realnosti, od jačine zvuka kojoj svaka životinja treba da se prilagodi, do količine kiše koju biljka treba da iskoristi. Od ekstremnog mraka u dubokoj pećini do najsvetlijeg bljeska svetla postoji nekoliko redova veličina promena, ipak naš senzorni

aparatus je u stanju da informiše mozak o takvim promenama.” (Chialvo, Balenzuela and Fraiman, 2008) Ukoliko bi svet, na primer, bio u subkritičnom stanju, organizam ne bi morao ništa novo da saznaje. Sve bi bilo jednolično, pa bi mozak kakav danas postoji bio u potpunosti nepotreban.

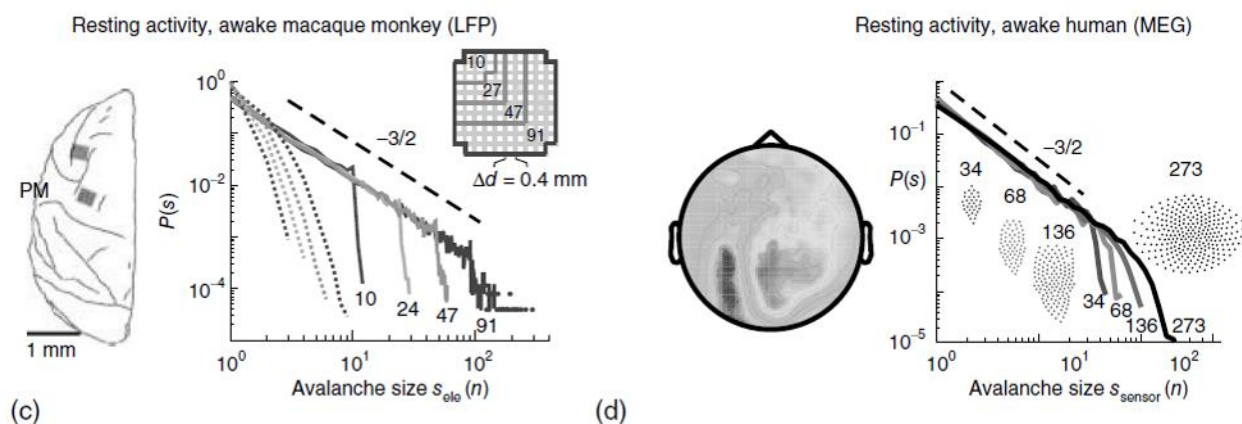
Slika 2.5 predstavlja tri uprošćena primera senzornih mreža sa različitim faktorom grananja koji utiče na širenje lavina kroz mrežu. Jednostavni sistem dobija ulazne signale sa leve strane. Ulazni neuroni su označeni zelenom bojom, žutom bojom su prikazani neuroni koji posreduju između ulaza i izlaza, a izlazni signal dobijamo preko neurona prikazanih crvenom bojom. Primeri ukazuju na ponašanje sistema ukoliko se nalazi u subkritičnom, kritičnom, i superkritičnom stanju.



Slika 2.5 (Chialvo, Balenzuela and Fraiman, 2008, str. 15)

Kada se sistem nalazi u kritičnom stanju vrednost parametra grananja iznosi oko 1. U tom slučaju on poseduje veliki dinamički opseg, što mu omogućava da na adekvatan način prikaže promene u uzlaznom signalu. Kada se sistem nalazi u subkritičnom stanju parametar grananja je manji od jedan, sistem ima malu osetljivost i ne uspeva da odgovori optimalno na ulazne signale. Superkritično stanje dovodi sistem u jednu vrstu hiperaktivnosti, gde ulazni signali aktiviraju celokupan sistem što takođe dovodi do smanjenja dinamičkog opsega. Tada je parametar grananja veći od 1. U kritičnom stanju na ivici tranzicije faze sistem će biti dovoljno osetljiv da procesira slabe stimulse i dovoljno ograničavajuć da jaki stimulusi ne dovedu do zasićenja mreže.

Postoje različite metode za analizu neuronskih aktivnosti od kojih je LFP^{14} (potencijal lokalnog polja) izuzetno korisna za prostorno i vremensko praćenje neuronskih kaskada. Dietmar Plenz je eksperimentalno potvrdio da neuronske aktivnosti prati *power law* distribucija, karakteristična za sisteme koji funkcionišu na granici kritičnosti. Na slici 2.6 možemo videti primere koji pokazuju kako aktivacije neuronskih grupa formiraju kaskade koje prate *power law*. (Plenz, Niebur, 2014) Istraživanja su vršena nad makaki majmunima (grafikon pod c) i ljudima (grafikon pod d). Ispitivanje makaki majmuna (*macaca mulatta*) je vršeno merenjem *LFP*-a, dok su ispitivanja na ljudima sprovedena uz pomoć *MEG*-a.



Slika 2.6 (Plenz, Niebur, 2014, str. 16)

Oba merenja su donela gotovo identične rezultate koji potvrđuju pretpostavku o kritičnoj prirodi neuronskih kaskada i lavina. U primeru c) (istraživanje nad makaki majmunom) možemo videti četiri krive prikazane punim linijama. One predstavljaju distribucije dobijene na osnovu četiri različita ispitivanja. Brojevi 10, 24, 47 i 91 prikazuju broj upotrebljenih elektroda u ispitivanju. Kao što možemo videti svako od navedenih ispitivanja nedvosmisleno prati *power law* sa eksponentom $-3/2$. Do naglog pada dolazi u zavisnosti od broja elektroda koje su korišćene u ispitivanju. Što je veći uzorak to je manji nagli pad.

Identičnu situaciju imamo i u primeru d) gde je MEG skenerom analizirana aktivnost ljudskog mozga u stanju mirovanja. Na grafikonu su prikazane četiri distribucije koje prate *power*

¹⁴ *LFP* analiza meri promenu u električnom potencijalu u neposrednoj okolini neurona. Ovo predstavlja invazivnu metodu koja prati dešavanja u manjim neuronskim grupama i u stanju je da u odnosu na EEG dosta preciznije meri promene u neuronskim stanjima manjih područja.

law sa eksponentom $-3/2$. Sive tačkice označavaju broj senzora koji je korišćen u analizi. Sa povećanjem broja senzora smanjuje se odstupanje od *power law*-a. Nezavisno od toga koliko je veliki uzorak neuronskog sistema koji se istražuje, neuronske aktivnosti će pratiti *power law* sa eksponentom $-3/2$. Neuronske lavine se dešavaju u najrazličitijim prostornovremenskim okvirima, počevši od najmanjih delova pa do područja koje obuhvata ceo korteks.

Da bi se utvrdila dinamika širenja neuronskih lavina potrebno je definisati parametar grananja. Označimo parametar grananja sa σ . Njegovu vrednost možemo izračunati kada podelimo broj potomaka (broj jedinica aktivnih u trenutku $t+1$) sa brojem predaka (broj jedinica koji je aktivan u određenom trenutku t). $\sigma = \text{potomci/preci}$

U slučaju kada je u proseku $\sigma = 1$, ne dolazi do promene u broju događaja. Dakle, niti se broj događaja povećava niti smanjuje iz generacije u generaciju. Neke od kaskada će se brzo završiti, druge će trajati dugo, ali prosečno će u sistemu parametar grananja biti 1. Kada u sistemu neuronske lavine imaju parametar grananja vrednosti 1, a distribucija veličina kaskada prati *power law* sa eksponentom $-3/2$, onda se sistem nalazi u kritičnom stanju. Ukoliko bi parametar grananja bio manji od 1 širenje neuronskih lavina bi se brzo zaustavilo, a ukoliko bi bio veći od 1 širenje bi bilo ogromno i vodilo bi destabilizaciji sistema. Isti zaključak smo videli kod simulacije senzornog sistema (slika 2.5).

Osnovna korist koju sistem dobija od lavina jeste maksimizacija dinamičkog opsega. Kinuči (*Kinouchi*) i Kopeli (*Copelli*) su uz pomoć kompjuterskih simulacija pokazali da lavine omogućavaju sistemu mnogo veću osetljivost i sposobnost prihvatanja jakih stimulusa bez dovođenja sistema u stanje zasićenja. (*Kinouchi and Copelli, 2006*)

Sistem koji funkcioniše na ivici tranzicije faza, oko tačke kritičnosti, poseduje širok dinamički opseg i veliku osetljivost, a opet ne dolazi do prezasićenja. Jedan od najvećih problema je definisati opšti mehanizam koji bi objasnio kako dinamički sistemi evoluiraju i kako se usmeravaju ka kritičnom stanju. Samoorganizujuća kritičnost, kako ju je formulisao Per Bak, ukazuje na tendenciju nelinearnih dinamičkih prirodnih sistema da spontano evoluiraju ka kritičnom stanju. Samoorganizujuća kritičnost ima dve prepoznatljive osobine. Prva je nestabilnost koju ono proizvodi u sistemu, jer i najmanja promena može da izazove interakciju unutar celog sistema. Druga osobina je da stanje kritičnosti predstavlja robusni atraktor. U kom god da se trenutku evolucije sistem nalazi, znamo da će se sistem vratiti u stabilno stanje. Ali isto tako znamo da će u jednom trenutku sistem imati period nestabilnosti. (*Chialvo, 2008*)

2.1.4. Emergentna svojstva i tranzicije faza

Priroda oko nas nije homogena i očigledno je da postoje različiti oblici i nivoi organizacije. Od organizacije galaksija, zemljine biosfere, organizama, superprovodnika, magnetizma, itd. Viši nivoi koje opažamo kao makroskopska svojstva nastaju kao posledica kolektivnog delovanja njihovih osnovnih (mikro) elemenata.

Koliko god duboko i precizno ušli u mikroskopsku analizu, globalne fenomene nećemo moći objasniti. Jedan molekul vode nam neće dati odgovor na pitanje zašto je voda vlažna. Tek kada analiziramo ponašanje kolektivnog ponašanja molekula možemo steći uvid u makroskopsko svojstvo vlažnosti. U konkretnom slučaju vlažnost nastaje kao posledica interakcije velikog broja molekula. Preko vodoničkih veza se ostvaruje komunikacija između susednih molekula (atom kiseonika privlači atom vodonika susednih molekula, što rezultuje formiranjem lanaca molekula). Makro fenomen vlažnost nastaje kao posledica kooperacije pojedinačnih molekula vode.

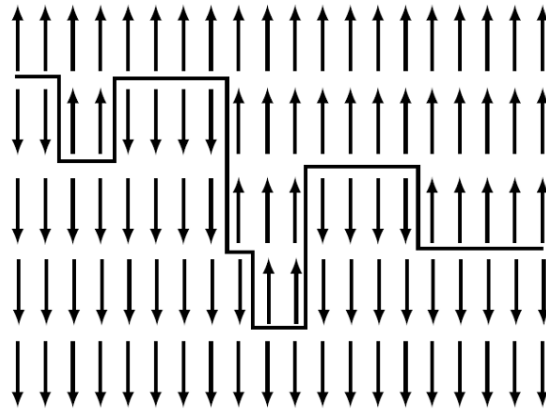
U fizičkim sistemima postoji princip takmičenja između energije i entropije. Temperatura ima presudnu ulogu u balansiranju tog odnosa. Pri niskim temperaturama sistem ima težnju ka smanjivanju entropije i tada je energija sistema dominantna sila. Pri visokim temperaturama sistem pokazuje tendenciju ka porastu entropije i njegovi elementi dobijaju sve veću slobodu. Sa promenom temperature dolazi do promene uređenja elemenata sistema. Kao primer možemo uzeti vodu koja pri snižavanju temperature prelazi iz tečnog u čvrsto agregatno stanje, a pri povećanju iz tečnog u gasovito.

Agregatna stanja predstavljaju faze u kojima se nalazi materija. Pri prelasku iz jednog u drugo agregatno stanje dolazi do preuređenja organizacije elemenata i tranzicije iz jedne u drugu fazu, gde isti osnovni elementi daju potpuno različita globalna, makro svojstva. Tranzicija faze se osim u navedenom slučaju može naći kod mnogih drugih prirodnih fenomena i od krucijalnog je značaja za razumevanja pojma emergencije u prirodnim sistemima.

Jedan od slučajeva emergencije koji se ne tiče prelaska iz jednog u drugo agregatno stanje možemo videti na primeru tranzicije faze kod materijala sa magnetnim svojstvima. Magnetizam nastaje kao posledica jednog od osnovnih svojstava elektrona koji se naziva elektronski spin¹⁵.

¹⁵ Elektronski spin spada u intrinzična svojstva elektrona i predstavlja momenat impulsa, svojstvo nalik rotaciji oko svoje ose (precizno govoreći elektroni se ne rotiraju oko svoje ose ali se rotacija koristi kako bi se jednostavnije opisalo njihovo kretanje, „spin“).

Kretanje elektrona, odnosno elektronski spin, stvara magnetno polje. Magnetni dipolni momenti kod svakog individualnog magnetnog polja, koje proizvodi elektronski spin, mogu imati dva pravca (usmeren na gore ili usmeren na dole). Ukoliko postoji sinhronizacija među pojedinačnim magnetnim poljima dolazi do pojave globalnog svojstva materijala. Makro magnetno svojstvo nekog materijala može da nastane samo kada individualni dipolni momenti imaju istu orijentaciju. Slika 2.7 ilustruje dvodimenzionalni *Ising* model kod koga vidimo jasno podeljene segmente orijentacije individualnih magnetnih polja.

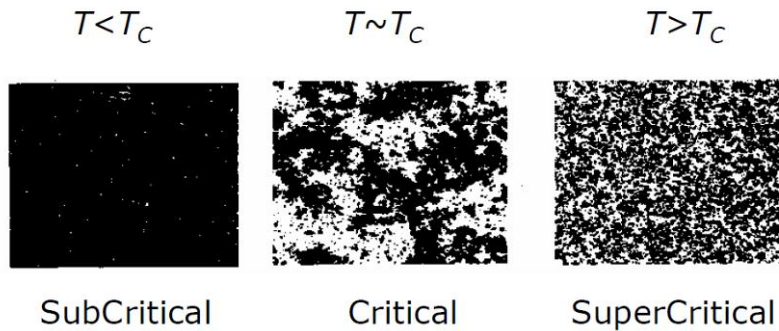


Slika 2.7 (*Gould and Tobochnik, 2010, str. 207*)

Ako uzmimo da analiziramo gvožđe i njegovo ponašanje pri promeni temperature, videćemo da sa porastom temperature dolazi do demagnetizacije gvožđa. Gvožđe ima osobinu da se pri niskim temperaturama ponaša kao feromagnet a pri visokim kao paramagnet. Kada se zagreje na dovoljno visoku temperaturu gvožđe u potpunosti gubi magnetno svojstvo, jer se pri visokoj temperaturi orijentacije spinova elektrona menjaju nasumično. Nasumičnost njihovih orijentacija dovodi do prestanka kolektivnog ponašanja i gubitka magnetizma kao makro svojstva. Sistem se tada nalazi u superkritičnom stanju. (*Chialvo, 2010*)

Ising model prikazan na slici 2.8 prikazuje magnetnu tranziciju faze i na njemu možemo videti kako se u pojedinim trenucima raspoređuju spinovi elektrona. Orijentacija magnetnih momenata na slici je predstavljena belim (kada je orijentacija usklađena) ili crnim oblastima (kada je orijentacija različitog smera). Unutar sistema postoji tendencija da spinovi elektrona koji se nalaze u neposrednom susedstvu usaglase svoju orijentaciju. U prvom slučaju, kada se materijal nalazi u subkritičnom stanju, svi elektroni imaju isti pravac spina (crna boja), odnosno imaju istu orijentaciju polova. (*Sporns, 2010*) (*Chialvo, 2010*)

Smanjenjem temperature dolazi do povećanja stanja uređenosti u sistemu i sve veće grupe imaju istu orijentaciju spina. Na niskim temperaturama ceo sistem se nalazi u stanju reda i spinovi ispoljavaju kolektivno ponašanje u vidu većih oblasti magnetizacije. Što je niža temperatura, to sve veće grupacije imaju istu orijentaciju spina. Sistem ispoljava veoma malu varijabilnost i nalazi se u subkritičnom stanju.



Slika 2.8 (Chialvo, 2010, str. 7)

Između subkritičnog i superkritičnog stanja se nalazi stanje kritičnosti koje istovremeno ispoljava oba svojstva: reda (postoje vidljivi obrasci magnetizacije) i haosa (obraci su promenljivi i postoji konstantna fluktuacija magnetizacije). Samo kada je temperatura blizu granice kritičnosti može doći do tranzicije faze između uređenog stanja i haotičnog stanja i pojave dugotrajnih fluktuacija magnetnih momenata. Stanje kritičnosti se ispoljava pri kritičnoj temperaturi T_c kada dolazi do spontanog podudaranja orijentacije spinova. Iako se interakcije isključivo odvijaju među susedima moguće je ostvariti usaglašavanje magnetnih polova u celom sistemu. U tom slučaju doći će do interakcije koja će obuhvatiti ceo sistem. U kritičnom stanju magnetne fluktuacije će pratiti *power law* distribuciju, što znači da će najveći broj korelacija biti lokalnog karaktera a mali broj njih će obuhvatiti ceo sistem. „U ovoj tački sistem je najosetljiviji, perturbacija jednog spina ima malu ali konačnu verovatnoću da započne lavinu koja će preoblikovati celo stanje sistema, nešto što je nezamislivo u nekritičnom stanju.” (Chialvo, 2010) Stanje kritičnost omogućava da spontane lokalne konekcije prerastu u komunikaciju u koju je uključen ceo sistem i koja dovodi do nastanka globalnog sistemskog svojstva koje prevazilazi osobine pojedinačnih elemenata.

2.2.

Mozak kao dinamički sistem

2.2.1. Arhitektura

U prethodnom delu smo mogli da vidimo šta je to što karakteriše sve prirodne kompleksne sisteme. Pokazano je da unutar celokupnog fizičkog sveta postoji zakonitost ispoljena u vidu kritične dinamike (*power law* distribucije). Kompleksni prirodni sistemi operišu na granici kritičnosti, što im istovremeno omogućava da funkcionišu kao jedinstvena celina (da imaju kolektivno, makro, svojstvo), ali i da poseduju širok repertoar mogućih stanja. Sada ćemo videti kako se prethodno prikazani pojmovi, koji se tiču kompleksnosti u dinamičkim sistemima, mogu primeniti na mozak.

Mozak predstavlja kompleksan sistem široko distribuiranih elemenata koji karakteriše posebna arhitektura i dinamika. Neuronske veze imaju dvostruko svojstvo. Sa jedne strane među neuronima postoje čvrste veze, a sa druge strane te veze su dovoljno fleksibilne i nalaze se u fazi konstantne izmene. Poput drugih arhitektura, i u neuronskoj, u osnovi stoje određena pravila povezivanja i ograničenja. Složena arhitektura ljudskog korteksa je posledica dugoročnog procesa koji je postepeno vodio ka sve većem umrežavanju i kompleksnosti. Bez obzira da li je u pitanju mozak jednostavnijih i starijih organizama, ili u potpunosti razvijen mozak čoveka, moguće je ustanoviti zajednička pravila povezanosti neuronske strukture. „Tokom evolucije, osnovna kola nisu fundamentalno modifikovana, već su umesto toga, mnogostruka paralelna kola, koja se sastoje od srednjih i dužih lanaca neurona, nadređena postojećim vezama. Bez obzira koji deo moždane mreže istražujemo, neuronske petlje su osnovna organizacija na skoro svim nivoima.“ (*Buzsaki, 2006, str. 30*) Razvoj i usložnjavanje arhitekture je povezan sa razvojem i usložnjavanjem funkcija organizma. Tako na primer kora velikog mozga spada u novije, vremenski mlađe delove mozga i nalazi se prostorno iznad evoluciono starijih delova, poput rombencefalona (*rhombosephalon*) gde spadaju veći deo moždanog stabla (*medulla oblongata, pons*) i cerebelum.

Ukoliko poredimo mozgove kompleksnijih organizama sa prostijim uvidećemo sličnost u osnovnoj neuronskoj organizaciji. Kompleksniji kao i jednostavniji mozgovi se sastoje od mreže

međusobno povezanih neurona koji formiraju specifične neuronske petlje. Što je složeniji mozak, to poseduje veći broj neuronskih petlji koje postaju prostorno sve veće, sa srednjim i dugačkim konekcijama koje u sebe uključuju veći broj neurona. Strukturalna organizaciona razlika u kvantitetu će se manifestovati promenom u kvalitetu. Kvalitativna razlika se vidi u načinu na koji organizam reaguje i prilagođava se svom okruženju.

Objašnjenje neuronske arhitekture podrazumeva objašnjenje načina na koji su neuroni međusobno povezani. U zavisnosti od konkretnog slučaja, neuron¹⁶ je putem sinapsi povezan sa između nekoliko hiljada i nekoliko desetina hiljada drugih neurona. Neke od konekcija su izuzetno duge, neke su srednje dužine, ali je većina konekcija lokalnog karaktera. Većina kortikalnih neurona je povezana sa svojim susedima koji se nalaze u istom funkcionalnom modulu (npr. vizuelnom).

Da bismo razumeli neuronske konekcije, potrebno je da razumemo prirodu njihovog umrežavanja. Da li se konekcije ostvaruju nasumično ili postoji određno pravilo povezivanja? Ukoliko bi konekcije bile nasumičnog karaktera, za umrežavanje celokupnog mozga bi bilo potrebno više konekcija. U tom slučaju bi se nepotrebno trošili prirodni resursi, i s obzirom na veći broj konekcija, bila bi potrebna i veća zapremina mozga. Takva vrsta povezanosti bi bila energetska neisplativija za organizam.

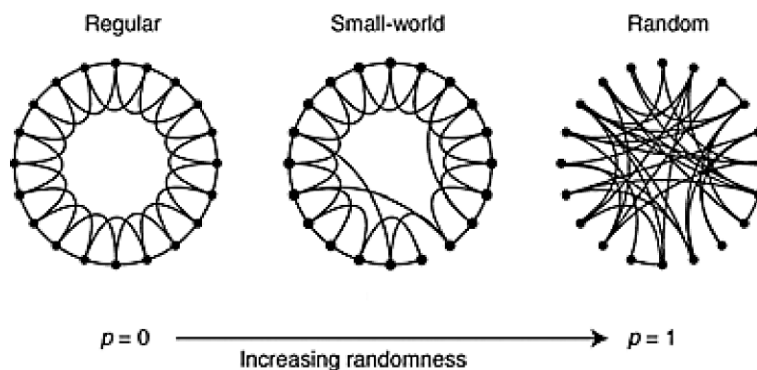
Veća povezanost prostorno bliskih neurona dovodi do veće lokalne klasterizacije. Međutim, ukoliko bi komunikacija neurona bila isključivo lokalnog karaktera, s obzirom na brzinu prenosa impulsa kroz akson, vreme za prenos informacija između različitih delova korteksa bi bilo predugačko. Time bi se izgubila prednost razmene lokalno distribuiranih informacija sa globalnom neuronskom mrežom. Znamo da je vreme od presudnog značaja za prilagođavanje, jer se razlika između života i smrti organizma ogleda u desetinama i stotinama milisekundi. Kao primer možemo uzeti komunikaciju između vizuelnog i motornog korteksa. Ukoliko je potrebna brza reakcija za eskiviranje objekta koji nam ide u susret, vreme prenosa informacija od vizuelnog do motornog korteksa mora biti što kraće. U slučaju isključive sekvencijalne povezanosti neurona to vreme bi bilo predugačko i ne bismo na vreme uspeli da eskiviramo opasnost.

¹⁶ Ovdje se pre svega misli na piramidalne neurone koji čine glavnu vrstu neurona kojima se vrši komunikacija unutar korteksa.

Dokaz o uslozljavanju neuronskih struktura i povećanja umrežavanja preko povećanja dužine aksona, možemo videti u različitim vrstama koje su se razvijale tokom evolucije. Tako na primer, kod ježeva i drugih manjih bubojeda, bela materija koju čine aksoni zauzima oko 6% zapremine korteksa. Kod ljudi je to više od 40%. (*Buzsaki, 2006*)

Još jedna osobenost ljudskog mozga je da se prilikom njegovog formiranja tokom evolucije nisu sva područja jednako razvijala i umrežavala. Najveći porast u zapremini i dužim konekcijama je vidljiv u frontalnom i parijetalnom korteksu, pre svega u asocijativnim područjima. Asocijativna područja zahtevaju duže aksone i drugačije konekcije u odnosu na primarna senzorna područja. „Na primer, dok su se primarna vizuelna područja samo udvostručila u veličini, od makakija do ljudi, porast parijetalnih i frontalnih kortikalnih područja je 10-40 puta veći kod ljudi.” (*Buzsaki, 2006, str. 50*).

Zbog toga je bitno da konekcije u neuronskom sistemu, osim uslova za energetska efikasnost, koja je obezbeđena lokalnim povezivanjem i klasterizacijom, zadovolji i uslov brze razmene informacija. Ova dva osnovna principa organizacije omogućavaju efikasno funkcionisanje mozga. Još uvek nije u potpunosti utvrđen optimalan odnos između lokalnih, kratkih konekcija, srednjih i dugačkih. Osnovna pretpostavka je da se sa uslozljavanjem sistema i povećanjem broja njegovih elemenata smanjuje mogućnost direktne komunikacije elemenata sa ostatkom sistema, pa je zarad poboljšanja komunikacije potrebno povećanje dužine aksona. Dankan Vac (*Duncan Watts*) i Stiv Strogac (*Steve Strogatz*) su dali moguće rešenje problema umrežavanja neuronskog sistema.



Slika 2.9 (*Buzsaki, 2006, str. 38*)

Na slici 2.9 možemo videti tri načina organizacije strukture od 20 elemenata. Svaki od elemenata je povezan sa 4 druga elementa unutar skupa. Na njihove međusobne konekcije

možemo gledati kao na aksone. Prva struktura, posmatrano sa leva (*regular*), predstavlja sistem koji karakteriše jaka lokalna povezanost elemenata. U tom slučaju postoji velika klasterizacija ali je dugačak put koji je potrebno da pređe informacija da bi bila komunicirana u celom sistemu.

Kod nasumične (*random*) organizacije, poslednja posmatrano sa leva, postoji veliki broj dugačih konekcija među elementima, zbog čega je sinaptički put između neurona kratak. Ali zbog manjka lokalne povezanosti dosta je manja klasterizacija i, kao što je pomenuto iznad, ovakav vid konekcije iziskuje veću energetska potrošnju sistema. Kod mali svet (*small world*) organizacije postoji u određenoj meri nasumična mogućnost za povezivanje neurona. U tom slučaju postoji klasterizacija na lokalnom nivou ali i brza razmena informacija među elementima na globalnom nivou. Sporns i Kijalvo u svojoj analizi pokazuju da mali svet kao vrsta kortikalne organizacije predstavlja generalni organizacioni princip u većim kortikalnim mrežama. (*Sporns, Chialvo, Kaiser, Hilgetag, 2004*)

U većini moždanih struktura prilikom povezivanja neuroni koriste najbliži put kako bi se povezali sa susednim neuronima. Princip kortikalne organizacije, koji karakteriše visoka lokalna povezanost unutar posebnih modula, je evolucionni odgovor na relacije iz okruženja koje za svoj osnovni princip organizacije imaju lokalne interakcije. Organizacija moždane kore je posledica kalibracije sistema statističkim pravilnostima fizičkog sveta. Prostorni raspored i vremenska dinamika aktivnosti neurona uspostavljeni su tako da odgovaraju dešavanjima u okruženju. Obrasci neuronskih aktivnosti tumače statističke pravilnosti i iz njih izvlače informacije koje odgovaraju dešavanjima sa najvećom verovatnoćom. Zbog toga kažemo da mozak ima i kreativnu ulogu u tumačenju informacija. Od određenih skupa informacija sistem proizvodi odgovor koji prevazilazi dati skup i daje mu statistički najverovatnije značenje. Vremenom kroz iskustvo dolazi do većeg afiniteta ka određenim oblicima ili pojavama, gde se manji broj karakterističnih informacija tumači u širem kontekstu. Na taj način funkcioniše i Rošrahov test ili pareidolia (sklonost da se u objektima, poput oblaka, vide druge forme koje nisu prisutne u osnovom stimulusu, poput životinja ili ljudskog lica).

Princip jače lokalne povezanosti neurona možemo videti u načinu na koji su moduli podeljeni u kori velikog mozga. Tako se na primer u parijetalnom delu, gde se nalazi motorni korteks, u najbližem susedstvu neurona odgovornih za upravljanje šakom nalaze neuroni koji kontrolišu pojedinačne prste, a pored neurona koji kontrolišu pokrete lica nalaze se neuroni koji kontrolišu oči, obrve, usne itd. Fizička udaljenost delova tela je u korteksu predstavljena u vidu

veće funkcionalne povezanost neurona koji reprezentuju delove tela koji se su prostorno bliži. „Mišići su stoga najekonomičnije predstavljeni u neokorteksu u odnosu na njihove geometrijske odnose u telu.” (*Buzsaki, 2006, str. 45*) Isto važi za čula vida i sluha. Neuron koji obrađuju vizuelne informacije će lakše i efikasnije procesirati informacije koje dolaze od fizički bliskih objekata u okruženju. Vizuelni signali sa retine se reprezentuju u delovima korteksa koji služe za obradu vizuelnih signala, poput vizuelnog korteksa, lateralnog genikulatnog jezgra, delova talamusa. Prostorno uređenje signala sa retine se reprezentacije u drugim delovima korteksa preko retinotopske (*retinotopic*) mape.

U slučaju auditivnog sistema frekvencije u bliskom frekventnom opsegu i sa određenim pravilnostima, poput ljudskog govora, će se lakše procesirati nego nasumične nepovezane frekvencije iz okruženja. Tonovi koji su frekvencijski bliži biće procesirani u topološki bližim delovima auditivnog korteksa. Na osnovu ovoga mogu se kreirati tonotopske (*tonotopic*) mape unutar auditivnog korteksa. Mape povezanih neurona su uspostavljene tako da akson prelazi minimalnu udaljenost između neurona, koji reprezentuju frekvencijski ili prostorno bliske elemente okruženja.

Strukturalna organizacija i umrežavanja neurona nisu slučajna, već su formirana u skladu sa karakteristikama kompleksnih sistema. U kompleksnim sistemima postoji hijerarhijski, višestruki nivo organizacije, gde su manji, hijerarhijski niži delovi sistema, postavljeni (*nested*) unutar većih. (*Salthe, 1985*) Zapremina aksona potrebnih za međusobno povezivanje različitih moždanih područja je minimizirana, čime je sistem optimizovan i lišen nepotrebnog umrežavanja. Ovakva organizacija čini sistem ekonomičnim i efikasnim. Navedene karakteristike potvrdilo je i istraživanje koje je sproveo Čarls Stivens (*Charles Stevens*) sa Salk instituta u Kaliforniji. „Istražujući mnoga alternativna uređenja kortikalnih područja, pronašli smo da uređenje, koje je trenutno prisutno u mozgu, minimizuje zapreminu aksona potrebnih za povezivanje područja. Naša zapažanja potvrđuju shvatanje da je organizacija kortikalnih područja evoluirala kako bi optimizovala konekcije između područja.“ (*Klyachko and Stevens, 2003, str. 7937*)

Jedna od specifičnosti mozga je da u različitim delovima mozga dominiraju različite vrste arhitekture. Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju na korelaciju između svesti i oblika arhitekture pojedinih delova mozga. Tako je na primer karakteristika talamokortikalnog sistema da ima veći deo dugih aksona koji omogućavaju *small world model*. Nasuprot tome cerebelum

karakteriše velika lokalna povezanost ali mali broj srednjih i dužih aksona. To ne znači da drugi delovi mozga, sa većom lokalnom povezanošću, nisu korisni za opstanak organizma već znači da su nastali tokom evolucije kada kompjutacioni zahtevi nisu bili toliko visoki. Integracija prethodnog sa trenutnim iskustvom, učenje i predviđanje, su filogenetski mlađe i kompjutaciono zahtevnije funkcije.

Arhitektonska struktura modula koji podržavaju složenije funkcije je drugačija od onih koji podržavaju jednostavnije funkcije. Arhitektura je direktno povezana sa funkcijom i struktura sa različitom arhitekturom će ispoljavati različite oblike ponašanja. U kasnijim poglavljima videćemo kako arhitektura pojedinih područja utiče na njihovu ulogu u formiranju svesnog iskustva. Moždane strukture koje poseduju arhitekturu koja omogućavaju globalnu i neprekidnu međusobnu interakciju neurona imaju učestvuju u formiranju svesnog iskustva. Pozitivna strana modularnosti korteksa je da omogućava paralelno odvijanje većeg broja kompjutacionih procesa.

Lokalna povezanost neuronskih grupa nije dovoljna, potrebno je u razmenu informacija uključiti i grupe neurona u drugim modulima, što podrazumeva upotrebu srednjih i dugačkih veza. Osobenost globalnog delovanja koje uključuje širok spektar populacija neurona je postojanje povratnih (*feedback*) petlji. Na taj način je omogućena integracija prethodnog iskustva sa trenutnim stanjem organizma. Povratne petlje omogućavaju sistemu da trenutne stimulse stave u istorijski kontekst.

2.2.2. Atraktori kao uzrok stabilnosti u neuronskom sistemu

Do sada smo videli da su samoorganizujući kompleksni sistemi nelinearni dinamički sistemi koji mogu iskazati određeni stepen slobode. Kompleksni sistemi su takvi da i pored velike dinamike i varijabilnosti ponašanja pokazuju tendenciju da se vrate u početno stanje. Šta utiče na sistem da se vrati u početno stanje? Zašto ne postoji konstantna nasumičnost u neuronskom sistemu i zašto obrasci neuronskih aktivnosti imaju tendenciju ponavljanja?

Ograničenja postavljaju atraktori koji predstavljaju vrednosti ka kojima sistem evoluirala bez obzira na raznovrsnost i broj početnih uslova. U slučaju neuronskog sistema atraktorima se nazivaju dinamička stanja neuronskih grupa koja su otporna na perturbacije i koja ispoljavaju osobinu samoorganizacije. „Takvo stanje se naziva atraktor zato što male promenljive perturbacije uzbuđuju sistem samo trenutno, posle čega sistem konvergira nazad ka istom

stanju.” (Wang, 2008) Atraktori omogućavaju robusnost i stabilnost sistema jer sprečavaju da ga svaka perturbacija, koja ga pomera iz stanja mirovanja, vodi u stanje haosa.

Atraktori se najčešće javljaju u modularnim mrežama sa povratnim konekcijama, kakav je i neuronski sistem, čija dinamika tokom vremena pokazuje stabilan obrazac aktivnosti. U neurobiološkom smislu atraktor predstavlja obrazac aktivnosti ka kome mreža evoluirala. Neuronski sistem može biti u gotovo beskonačno stanja (obrazaca aktivnosti), a podskup skupa svih mogućih neuronskih obrazaca, ka kojima sistem teži i u kome se ustaljuje, predstavlja atraktor. Spoljašnji ili intrinzični šumovi mogu da destabilizuju stacionarna stabilna stanja što dovodi do tranzicije od jednog do drugog atraktora u sistemu. (Rabinovich, Friston and Varona, 2012)

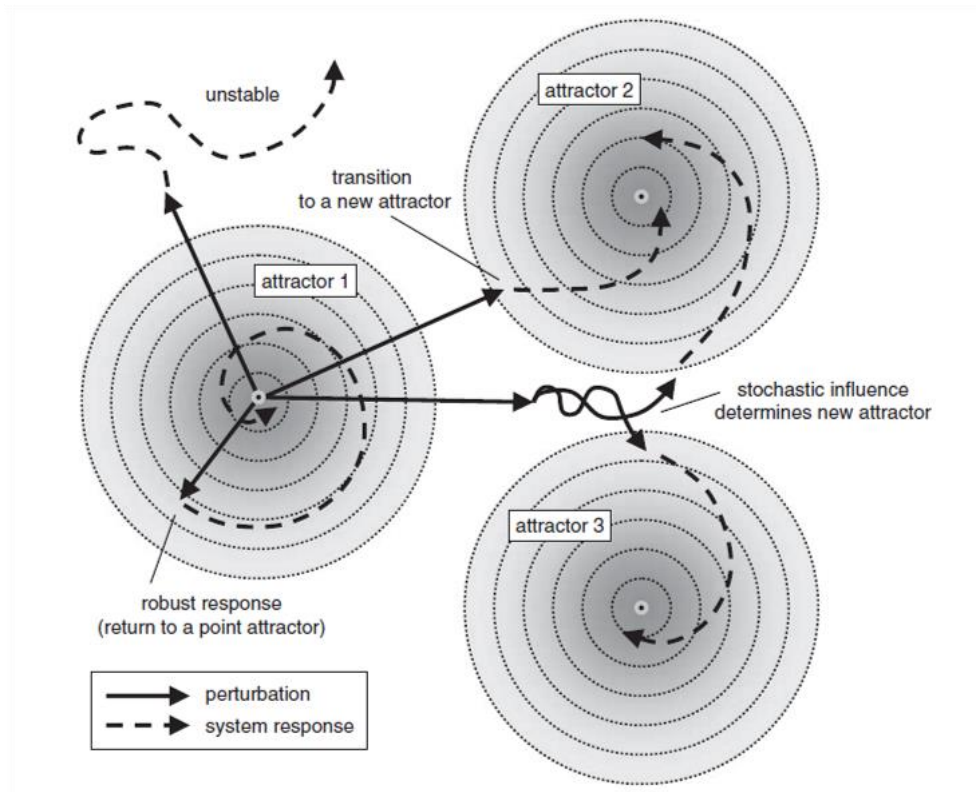
Nelinearni dinamički sistem prolazi kroz niz promena koje se opisuju putem diferencijalnih jednačina. Što ima više promenljivih to su jednačine kompleksnije. Neuronski sistem spada u izuzetno kompleksne dinamičke sisteme gde nam nisu u potpunosti poznate sve promenljive i njihova međusobna zavisnost. Zato se većina modela koji ga opisuju koristi pojednostavljenim opisom i aproksimacijama evolucije sistema. Najčešće upotrebljavan matematički model neurona je Hožkin-Haksljev model¹⁷ (Hodkin-Huxley) koji su Fichju i Nagumo (FitzHugh and Nagumo) sa prvobitna četiri parametra (četiri dimenzije) redukovali na dva parametra (odnosno dve dimenzije).

U zavisnosti od broja promenljivih koje utiču na dinamiku sistema, zavisioće i opis stanja u kojima sistem može da se nađe. Veći broj parametara povlači i veću dimenzionalnost apstraktnog geometrijskog prostora kojima se opisuje sistem. Sva moguća stanja sistema će biti predstavljena u okviru višedimenzionalnog geometrijskog prostora (*state space*). Za svaki promenljivi parametar u sistemu prostor će imati dodatnu dimenziju. U sistemu od 10 neurona, gde svaki neuron ima jedinstvenu ulaznu ili izlaznu vrednost napona, prostor će se sastojati od 10 dimenzija koje možemo prikazati kao ose u dekartovom koordinatnom sistemu. Ako je sistem jednostavan i njegova dinamika zavisi od dve promenljive, prostor u kome opisujemo njegova stanja će biti

¹⁷ Hodžkin-Haksljev model opisuje kako se generiše i širi akcioni potencijal unutar neurona. Model je zasnovan na velikom neuronu lignje i objašnjava koji hemijski elementi i biofizičke karakteristike ćelijske membrane utiču na stvaranje akcionog potencijala i njegovo širenje. Više o ovome u (Hodkin and Huxley, 1952)

dvodimenzionalan. Takav je na primer pojednostavljen Hodžkin-Haksljev model. Dinamika sistema, stanja kroz koje sistem prolazi, biće prikazana kao trajektorija unutar tog prostora.

U stanju mirovanja sistem ima početnu poziciju koja se predstavlja u vidu centralnog regiona unutar prostora stanja (*state space*). Bilo koja perturbacija uticaće tako da se sistem pomeri iz pozicije centralne tačke. Različite perturbacije će proizvoditi drugačije i jedinstvene trajektorije. U zavisnosti od toga koliko je velika perturbacija zavisice i putanja trajektorije. (slika 2.10) Dinamički sistemi, kakav je mozak, imaju u sebi više atraktora. Svaki od atraktora ima svoj region, bazu privlačenja (*basin of attraction*) u okviru prostora stanja.



Slika 2.10 (Sporns, 2010, str. 211)

Na slici 2.10 možemo videti tri tačkasta atraktora (*point attractors*) sa svojim faznim prostorima koji su prikazani kao isprekidani koncentrični krugovi. Crnim linijama su prikazane perturbacije sistema a isprekidanim odgovor sistema na njih. Početno stanje mirovanja sistema je centar unutar atraktora 1. Manja perturbacija izbacuje sistem iz stanja mirovanja i remeti ga tako da se posle početnog narušavanja sistem vraća ka početnom stanju. To možemo videti kao trajektoriju koja vremenom konvergira ka centru tačkastog atraktora 1. Pri većim perturbacijama sistem može napustiti prostor atraktora 1 i ući u područje privlačenja nekog drugog atraktora. U

ovom slučaju to su atraktori 2 i 3. Prilikom velikih perturbacija moguće je da sistem napusti područja atraktora i da se nađe u nestabilnom režimu rada. (*Sporns, 2010*)

Navedeni primer služi kao pojednostavljeni prikaz okruženja u kome se nalaze tri tačkasta atraktora. Unutar neuronskog sistema gde postoje milijarde neurona biće prisutni različiti tipovi dinamičkih režima (atraktora) poput: tačkastih, periodičnih (granični ciklus), linijskih, čudnih i haotičnih. Svaka lokalna grupa neurona može imati svoj specifičan obrazac aktivnosti koji se može predstaviti kao neki od gore opisanih tipova atraktora.

Sistem može sadržati različite vrste atraktora čije je funkcionisanje u potpunosti kompatibilno. Dosadašnja istraživanja (*Eliasmith, 2005*) (*Miller, 2016*) ukazuju na to da različita moždana područja funkcionišu u različitim dinamičkim režimima. Unutar moždanih područja najčešće deluje vrsta atraktora koja odgovara njihovoj osobenosti poput arhitekture, odnosa inhibitornih i ekscitatornih neurona, vrsti neurotransmitera ili nekim drugim specifičnostima. U biološkim sistemima atraktori mogu biti statični (tačkasti, linijski, prstenasti, ravan), ciklični (ograničeni ciklus), i haotični (čudni). (*Eliasmith, 2005*) (*Miller, 2016*)

Delovanje specifičnih vrsta atraktora je primećeno u pojedinim neuronskim grupama koje vrše funkcije poput kontrola oka, radne memorije, pokreta, mirisa, perifernih senzora. Tačkaste atraktore možemo naći kod kontrole perifernih senzornih sistema, linijske pre svega kod okulomotorne kontrole, ali i kod donošenja odluka, ravan atraktore kod frontalnih područja radne memorije i sistema za kontrolu ruku, prstenaste kod kontrole pokreta glave, ciklične (graničnog ciklusa) kod repetitivnog ponašanja poput šetanja, žvakanja, plivanja, a haotični se povezuju sa mirisnim bulbusom (*olfactory bulb*). (*Eliasmith, 2005*) (*Miller, 2016*) Dakle, atraktore možemo naći u najrazličitijim segmentima funkcionisanja neuronskog sistema i predstavljaju intrinzičnu tendenciju sistema da se vrati u postojeće stanje.

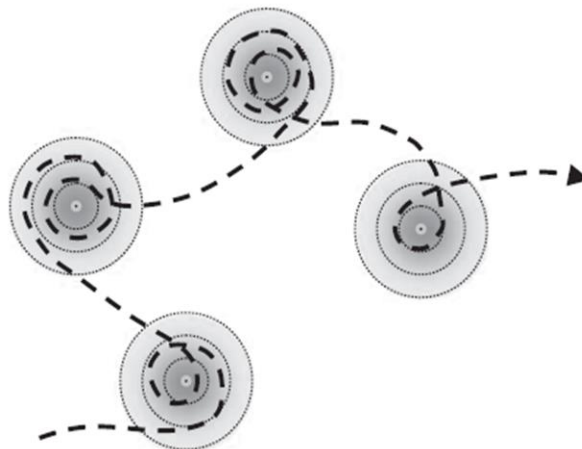
2.2.3. Multistabilnost, metastabilnost, kvazi atraktori

Neuronski sistem sadrži veći broj atraktora koji ga vraćaju u stabilno stanje nakon perturbacija. Tokom perturbacija sistem može da prelazi od jednog do drugog atraktora, odnosno od jednog do drugog stabilnog stanja. Kada sistem poseduje više od jednog stabilnog stanja on je multistabilan. (*Kelso, 2012*) Pošto je mozak jedinstven dinamički sistem potrebno je objasniti koja ga to sila vodi od jednog do drugog stabilnog stanja. Postoji li jedinstveni mehanizam koji

objašnjava tranzicionu dinamiku sistema? Da li možemo pretpostaviti da ceo neuronski sistem ima jedan globalni atraktor?

Ceo neuronski sistem možemo posmatrati kao da poseduje jedan atraktorski prostor, odnosno jednu atraktorsku mnogostrukost (*attractor manifold*). Atraktorska mnogostrukost je apstraktan topološki prostor u kome se nalaze sva moguća stanja sistema. Kao što je već rečeno, prostor stanja je predstavljen preko dimenzija, čiji broj zavisi od broja parametara, promenljivih kojima se mogu opisati sva stanja u sistemu. Konkretna stanja su predstavljena u vidu tačaka u prostoru, koje imaju svoje bliže i dalje okruženje. Ukoliko stanja u sistemu mogu biti opisana preko dva parametra, prostor će biti dvodimenzionalan, a tačka koja predstavlja stanje sistema imaće okruženje u vidu površine diska. (*Friston, 1997*).

Globalno posmatrano, u sistemu se uočava konstantna promena i prelazak između stabilnih stanja, što eksterno posmatrano može da deluje kao nestabilnost. Sa jedne strane sistem poseduje stabilnost jer postoji tendencija da se sistem vraća u početno stabilno stanje, a sa druge nestabilnost koja se ogleda u prelasku iz jednog u drugo stabilno stanje. Prelazak od jednog do drugog atraktora se odigrava na jedinstvenoj atraktorskoj površini gde pojedinačni lokalni atraktori privlače trajektoriju ka sebi, da bi ona u nekom trenutku prešla u oblast privlačenja drugog lokalnog atraktora. Tranzicija stanja je kontinuirani proces ostvaren u jedinstvenom sistemu. Sistem je koherentna celina jer se navedena dinamika odvija na jedinstvenoj globalnoj atraktorskoj površini. (*Friston, 2012*)

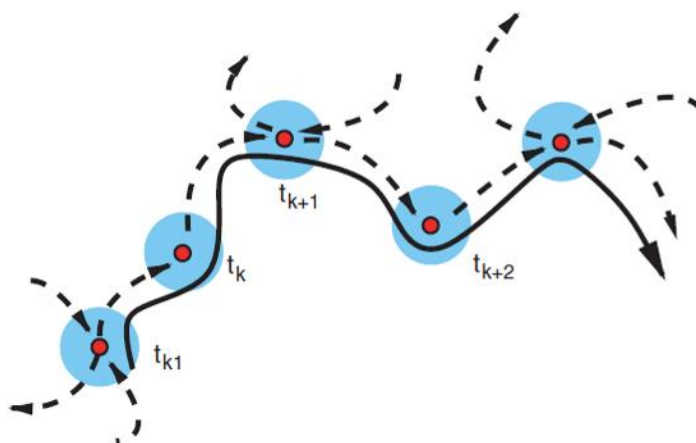


Slika 2.11 (*Sporns, 2010, str. 263*)

Tranziciju stanja i metastabilnu dinamiku na jedinstvenoj atraktorskoj površini možemo videti na slici 2.11. Trajektorija stanja sistema ide preko atraktorske površine sve dok ne upadne

u „džepove” koje predstavljaju lokalne atraktore. „Metastabilna dinamika se odvija na atraktoru koji formira mnogostrukost, sa mnogim međusobno spojenim ‘džepovima’ koji usporavaju ili zarobljavaju trajektoriju sistema i stoga stvaraju povremeno, kvazistabilno temporalno ponašanje.” (Sporns, 2010) Džepovi predstavljaju metastabilna stanja, obrasce aktivnosti u koje će se sistem vraćati. Perturbacije narušavaju sistem tako da on spontano prelazi iz jedno u drugo stanje i ide od jednog do drugog atraktora.

Postoji nekoliko matematičkih modela koji objašnjavaju nastanak kvazi stabilnih tranzicionih stanja i metastabilnosti u neuronskom sistemu. Jedan od modela je „takmičenje bez pobjednika” (*winnerless competition - WLC*) koji zastupaju Rabinovič i Varona. (Rabinovich and Varona, 2011) Alternativno matematičko objašnjenje metastabilnih stanja koje zastupaju Rabinovič i Varona predstavljaju heteroklinički kanali prikazani na slici 2.12. Metastabilnost je ostvarena usled uticaja tačaka sedla¹⁸ (*saddle points*) koje su međusobno povezane u heterokliničke kanale kojima je usmerena trajektorija sistema. Heterokliničke veze predstavljaju put unutar faznog prostora koji spaja različite tačke ekvilibrijuma. Usmerenost trajektorije heterokliničkim kanalima označena je punom linijom na slici.

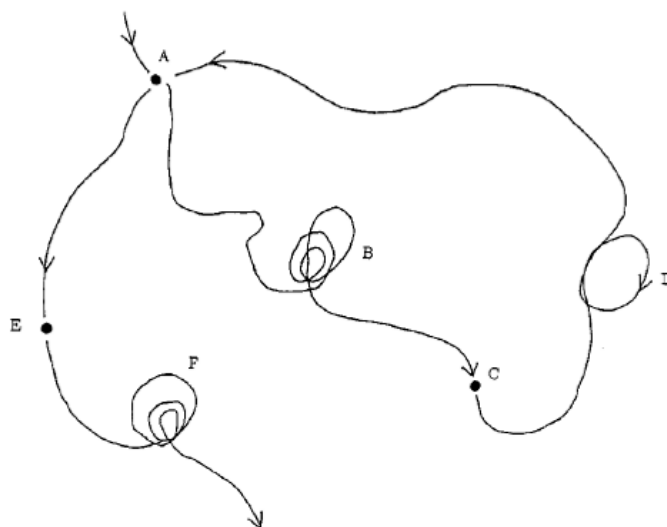


Slika 2.12 (Rabinovich, 2008, str. 2)

Drugi alternativni matematički model metastabilnosti je „haotično putovanje” (*Chaotic itinerancy*) koje zastupa Ičiro Tsuda (Tsuda, 2001). Tsuda smatra da je haos karakteristika svih visokodimenzionalnih dinamičkih sistema koji imaju više stabilnih stanja. Prilikom većih

¹⁸ Tačke sedla su stabilne tačke (stacionarne tačke, tačke ekvilibrijuma) u čijoj neposrednoj blizini dolazi do usporavanja trajektorije. U prostoru između tačaka sedla trajektorija će istovremeno biti privlačena jednim a odbijana drugim tačkama. (Rabinovich, Huerta1, Varona and Afraimovich, 2008)

nestabilnosti sistem prelazi iz stabilnog režima u haotičan režim što dovodi do potpunog gubitka atraktora. Ukoliko je nestabilnost manjeg obima onda je moguće javljanje režima koji se nalazi između stanja reda i haosa. U takvom režimu atraktori ne postoje u onom obliku u kojem su postojali na početku kada je sistem bio u stabilnom stanju. Ali takođe nema ni potpunog gubitka atraktora kao što je slučaj kada velike perturbacije dovode do haotičnog režima. Pri manjim perturbacijama atraktor se destabilizuje i od njega ostaju samo tragovi, odnosno atraktorske ruševine (*attractor ruins*). Ponašanje sistema u tom slučaju se naziva haotično putovanje (*chaotic itinerancy*). (Tsuda, 2001)



Slika 2.13 (Tsuda, 2001, str. 799)

Ruševine atraktora nastale na mestu nekadašnjeg stabilnog atraktora se nazivaju putujući atraktori (*itinerant attractors*). U takvom slučaju čak i infinitezimalno male perturbacije će uticati da obrasci aktivnosti napuste blisko okruženje putujućeg atraktora. Takav sistem ima visoku dinamičku osetljivost. Ilustraciju kako izgleda trajektorija sistema u kome postoje ruševine atraktora možemo videti na slici 2.13. Stanje sistema je privučeno ruševinom određenog atraktora (to može biti ruševina bilo kog od gore navedenih atraktora: granični ciklus, tačkasti, ravan itd.). Usled nestabilnosti sistem se dinamički menja a promena je prikazana trajektorijom koja ide od jedne do druge atraktorske ruševine. Dinamika se usporava kada se sistem približi uređenom stanju, ruševinama atraktora, a zatim se ubrzava kada trajektorija sistema izađe izvan domena ruševina jednog atraktora i uputi se ka nekom od drugih.

Kelso (*Kelso 2012*) (*Bressler and Kelso, 2016*) zastupa model „koordinacione dinamike”. Prema koordinacionoj dinamici metastabilnost je svojstvo koje se pojavljuje u sistemima gde jedinice ispoljavaju istovremenu tendenciju da funkcionišu autonomno (lokalna segregacija) i tendenciju za koordinisanom aktivnošću (globalna integracija). (*Kelso, 2012*). U kasnijim poglavljima videćmo da je pojam metastabilnost veoma bitan za dinamičke teorije svesti koje su zasnovane na hipotezi o svesti kao integraciji informacije.

Neuronski sistem prolazi kroz sukcesije stanja tako što oblikuje funkcionalno spojena područja. Tokom tranzicije stanja rapidno se razbijaju postojeće funkcionalne celine, a zatim se uspostavljaju nove. Sličnu ideju, u teoriji dinamičkog jezgra, zastupaju Edelman i Tononi (*Edelman and Tononi, 2000*). Relativna koordinacija omogućava da segmenti (neuronske grupe) jednog funkcionalnog klastera nakon njegovog razbijanja učestvuju u novonastalom funkcionalnom klasteru. Zahvaljujući relativnoj koordinaciji moguća je fleksibilnost i reorganizacija celokupnog sistema kroz prespajanje elemenata.

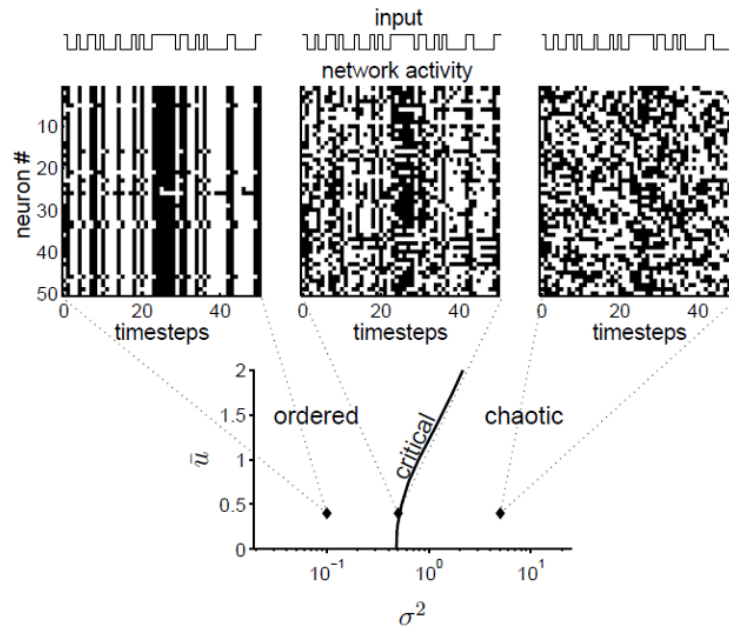
„Metastabilnost omogućava dinamičko objašnjenje ‘relativne koordinacije’. Relativna koordinacija dozvoljava takmičenje između tendencije komponenata sistema da održe njihove jedinstvene prostornovremenske osobine (autonomiju) i suprotstavljene tendencije da sarađuju kako bi proizveli jedinstveni funkcionalni sistem.“ (*Bressler and Kelso, 2016*)

Relativnu koordinaciju možemo posmatrati kao nepotpunu koordinaciju moždanih područja. Nepotpuna koordinacija je značajna jer sprečava sistem da uđe u režim potpune zaključanosti (potpuno fazno zaključavanje), što bi ga učinilo nefleksibilnim i sprečilo bilo kakvu dalju tranziciju. „Ukratko, metastabilnost garantuje da se živi mozak (i generalno kompleksni sistemi usmereni na cilj) nikada neće naći zamrznut, u bilo kom vremenskom periodu, u posebnom koordinisanom stanju: nema potrebe preći bilo koje energetske barijere da bi se posetile samoorganizujuće metastabilne tendencije. Iz tog razloga, izgleda verovatno da se prirodna selekcija zakačila za ovaj aspekt samoorganizacije, favorizujući metastabilnost kao neophodnu za adaptivno ponašanje.” (*Kelso, 2012*)

2.2.4. Mozak i tranzicija faze

Prethodno prikazani primeri pokazuju kako fizički sistem u stanju kritičnosti prolazi kroz tranziciju faze. Glavno pitanje za naše istraživanje je da li neuronski sistem ispoljava iste osobine, odnosno mogu li se kod njega pronaći naznake tranzicije faze?

Videli smo da Plenc, Sporns i Kialvo ukazuju na postojanje *power law* distribucije unutar neuronskog sistema što je jedna od naznaka da neuronski sistem funkcioniše u režimu koji se nalazi na ivici kritičnosti. Koristeći simulaciju Natschlegel i Bertšinger (*Natschlägel and Bertschinger, 2004*) su takođe pokazali da rekurentna neuronska mreža sa nasumično povezanim veštačkim neuronima može ispoljiti subkritično, superkritično i kritično stanje. (Slika 2.14).



Slika 2.14 (*Natschlägel and Bertschinger, 2004, str. 4*)

Mreža je sačinjena od neurona sa svojstvima jednostavnih jedinica koje mogu imati dve vrednosti: 1 i -1. Svaki od neurona x_i (ukupan broj neurona u mreži je $N=250$) je nasumično povezan (broj veza je $K=4$) sa drugim neuronima x_j unutar mreže. Jačina sinaptičkih veza w_{ij} između neurona je takođe nasumična i njena vrednost je uvek veća od 0. Mreža je izložena ulaznom signalu koji je prikazan u prvom redu. U drugom redu je prikazana evolucija mreže tokom vremena u tri različita vremenska intervala. Polja označena crnom bojom predstavljaju neurone kada imaju vrednost 1, a belom bojom kada imaju vrednost -1. Za svaki vremenski interval unutar mreže postoje jedinstvene vrednosti dva parametra (\bar{u} i σ^2) koje utiču na njenu dinamiku.

Variranje parametara σ^2 (σ^2 je varijansa jačine sinaptičkih veza w_{ij} među neuronima unutar mreže) dovodi do promene u dinamici mreže. Niska varijansa σ^2 (mala disperzija vrednosti jačine sinaptičkih veza) drži sistem u subkritičnom stanju a visoka varijansa σ^2 (velika disperzija vrednosti jačine sinaptičkih veza) dovodi sistem u superkritično stanje. Sa variranjem

vrednosti varijanse mreža prolazi kroz različite dinamičke režime i tranziciju faza. Gledajući od leva ka desno mreža evoluirala od uređenog stanja do stanja haosa. Negde na putu između njih nalazi se kritični režim. U uređenom subkritičnom stanju (prva mreža sa leva) aktivnost sistema prati vrednosti dobijenih ulaznih signala. Sistem ima predvidivo ponašanje, nema veliku osetljivost na perturbacije i trenutna aktivnost mreže je isključivo posledica delovanja trenutnih ulaznih signala. Kada se mreža nalazi u superkritičnom haotičnom stanju (prva mreža sa desna) postoji hipersenzitivnost gde mala promena ulaznih signala dovodi do velikih promena aktivnosti mreže. U superkritičnom stanju aktivnost sistema je nasumična, ne postoji predvidivo ponašanje i veća integrisanost sistema. Za određenu vrednost varijanse σ^2 sistem će biti u kritičnom stanju (mreža u sredini).

Fraiman takođe (*Daniel Fraiman*) pokazuje da postoji velika sličnost između ponašanja magnetnih momenata elektrona unutar sistema na kritičnoj temperaturi (dobijenih dvodimenzionalnim *Ising* modelom) i ponašanja neuronskog sistema u mirovanju gde su podaci dobijeni korišćenjem *fMRI*. „Ipak, rezultati u ovom radu sugerišu da se važne lekcije mogu naučiti iz upečatljivih sličnosti između podataka o mozgu i dinamike koja nastaje iz *Ising* modela na kritičnoj temperaturi.” (*Fraiman, Balenzuela, Foss and Dante, 2009*) Prema njima mozak se u stanju mirovanja nalazi blizu kritične tačke tranzicije faze drugog reda, što dovodi do nastanka promenljivog kolektivnog ponašanja neuronskih grupa. (*Fraiman, Balenzuela, Foss and Dante, 2009*)

Kritično stanje dovodi mrežu u situaciju u kojoj poseduje najbolje od dva ekstrema. Od stanja reda dobija stabilnost i sposobnost da se elementi integrišu u funkcionalnu celinu, a od haotičnog stanja dobija promenljivost i sposobnost za adaptivno ponašanje. Stanje u kome postoji odgovarajući balans između reda i haosa je metastabilno stanje.

2.2.5. Zaključak

U ovom poglavlju smo videli kako se saznanje iz oblasti teorije dinamičkih sistema mogu primeniti na razumevanje funkcionisanja mozga. Postoji izrazita sličnost u dinamičkom ponašanju između mnogobrojnih kompleksnih sistema fizičkog sveta i mozga. Poput ostalih kompleksnih sistema i neuronski sistem ispoljava osobinu samoorganizovane kritičnosti, omogućavajući nezavisnost i određeni stepen slobode osnovnim elementima sistema, a istovremeno ograničavajući ih u vidu njihove kooperacije.

Zbog ovih osobina neuronski sistem spada u nelinearne dinamičke sisteme kod kojih se dinamički razvoj sistema ne može odrediti na osnovu pojedinačnih mikro elemenata. Stanja celokupnog sistema zavise od dinamičkog odnosa između njegovih konstitutivnih delova. „Modeli kooperativnih mreža su doneli ideju da mogu postojati neuronske strukture čije se ponašanje ne može razumeti preko uzorka od samo nekoliko neurona. Kolektivna masovna interakcija između svih neurona u mreži je ta koja određuje njeno ponašanje.” (*Abeles, 1991*) U svakom trenutku postoji mnoštvo lokalnih aktivnosti, od kojih svaka u određenim okolnostima može preuzeti globalni primat i proširiti svoje lokalno delovanje na veći deo sistema.

Na tendenciju samoorganizacije i pojavu kritičnosti utiče i arhitektura sistema. Istraživanja su pokazala da su rekurentne mreže sa „mali svet“ arhitekturom najpogodnije za ispoljavanje samoorganizujuće kritičnosti. (*Sporns, Chialvo, Kaiser and Hilgetag, 2004*) Primer takve arhitekture možemo videti u kori velikog mozga ali ne i u delovima poput bazalnih ganglija i cerebeluma. Oštećenja u oblasti cerebeluma ne utiču na gubitak svesti. Nedostatak ovog dela mozga odražava se na ponašanje, osobe se teže kreću, kasnije su naučile da govore i slično, ali ni u kom slučaju ne utiče na gubitak svesti.

Značaj kritične dinamike neuronskog sistema se ogleda u njegovoj sposobnosti prilagođavanja spoljašnjim uticajima, kojih ima gotovo beskonačno mnogo. Da bi organizam ispoljio adaptivno ponašanje, unutrašnja struktura i kompjutacioni procesi mozga moraju biti prilagođeni spoljašnjem svetu. Na neki način mozak vrši podešavanje unutrašnjih procesa u odnosu na spoljašnje. U procesu prilagođavanja mozak ne funkcioniše samo kao aparat koji direktno odgovara na dolazne stimulse iz okruženja, već najveći deo njegovih aktivnosti predstavlja interna komunikacija među njegovim sastavnim delovima. Osnovna moždana karakteristika je samoorganizovanost i sposobnost da sam proizvodi nove informacije koje prevazilaze informacije dobijene putem spoljašnjih stimulusa. Svojom spontanom endogenom aktivnošću mozak interpretira dobijene stimulse na taj način stvarajući reprezentacije spoljašnjeg sveta.

Celokupna dinamika je u potpunosti oslobođena spoljašnjih instrukcija i posledica je endogenih samoorganizujućih aktivnosti. „Sposobnost mozga da se samoorganizuje i podvrgne promenljivoj dinamici stanja je krucijalno za njegovu sposobnost da istovremeno zadovolji trenutne zahteve koje postavlja okruženje, i integriše ove egzogene signale sa endogenim

aktivnostima mozga i tela. Integrisana aktivnost mozga formira neuronsku osnovu za jedinstvo duha i iskustva.” (Sporns, 2010)

Samo kompleksni nelinearni dinamički sistemi su u stanju da idu preko dobijenih informacija. Takvi sistemi, među koje spade i mozak, uspevaju da ispolje svojstvo kritičnosti i da stvore kvalitativno drugačija (emergentna) svojstva. Nelinearnost je suštinska karakteristika kompleksnih sistema, gde male promene u dolaznim informacijama proizvode širok dijapazon efekata koji se ne mogu unapred odrediti. Ma koliko imali precizan opis sastavnih elemenata i dolaznih informacija, nikada nećemo moći u potpunosti da opišemo i predvidimo njihovo kolektivno ponašanje, jer je kolektivno svojstvo kvalitativno drugačije od svojstava pojedinačnih elemenata. Mozak kao kompleksan sistem će prolaziti kroz neprekidne promene koje će se sastojati od perioda stabilnosti i balansa i iznenadnih i intenzivnih procesa koji će obuhvatati manje ili veće delove sistema.

Postojanje atraktora u sistemu sa kritičnom dinamikom pruža stabilnost i duže zadržavanje informacija, što daje mogućnost sistemu da uveže široko rasprostranjene elemente i integriše ih u jedinstvenu celinu. Kao što ćemo videti kasnije, ovo će omogućiti formiranje povratnih kauzalnih petlji unutar mozga što je jedan od osnovnih preduslova za nastanak svesnog iskustva. Sistemi sa kritičnom dinamikom prolaze kroz tranziciju faze i ulaze u metastabilno stanje u kome se ostvaruje visok stepen integracije informacija unutar njega. Videli smo da moždana dinamika stalno varira između stabilnosti i nestabilnosti. Takvo stanje se naziva metastabilno stanje. Postojanje metastabilnih stanja je moguće zahvaljujući atraktorima koji sistem drže u okviru određene trajektorije. Iako sistem ne mora nužno da bude u okviru jedne te iste trajektorije, period stabilnosti je omogućen prelaskom u delovanje drugih atraktora sa svojim trajektorijama. Bez stabilnosti sistem ne bi mogao da funkcioniše kao prostornovremenska celina, a bez nestabilnosti sistem ne bi imao dinamiku i ostao bi zamrznut za sva vremena u jednom istom stanju.

Stoga, funkcionisanje na granici kritičnosti omogućava neuronskom sistemu da ima globalnu stabilnost, koja mu omogućava da ima istoriju i bude dovoljno uređen da bi bio integrisan kao sistem. Ali takođe mu omogućava da bude podložan promenama, odnosno da poseduje fleksibilnost kako bi mogao da se prilagodi spoljašnjim uslovima. „Mozak koji nije kritičan je mozak koji radi jednu istu stvar svakog minuta ili, u drugom ekstremu, je toliko

haotičan da radi u potpunosti nasumičnu stvar, bez obzira na okolnosti. To je mozak idiota.”
(Carroll, 2016)

Sistem u režimu kritičnost ostvaruje najbolje osobine po pitanju procesiranja informacija. Istraživanja (Kinouchi and Copelli, 2006) pokazuju da se prilikom tranzicije faza ostvaruje optimalno procesiranje informacija. Osetljivost i dinamički opseg neuronske mreže su maksimizovani u kritičnoj tački tranzicije faza. Takođe, u tranziciji faza sistem ima najveću kompleksnost. Tada postoji balans između suprotstavljenih tendencija integracije i segregacije, a posledica tog balansa je maksimalna količina integrisane informacije u sistemu. (Sporns, Chialvo, Kaiser and Hilgetag, 2004) (Edelman and Tononi, 2000) (Olaf Sporns, 2010) (Tononi and Koch, 2015)

Kod emergentnih fenomena kakva je i svest, dolazi do dvosmernog uticaja. Zahvaljujući samoorganizaciji, interakcijom konstituenata nastaje globalno stanje (odozdo na gore uzročnost), ali istovremeno emergentno makro svojstvo utiče na svoje lokalne elemente (odozgo na dole uzročnost) ograničavajući ih i upravljajući njihovim delovanjem. „Krucijalno, uzrok nije ni jedno ni drugo već je ugrađen u konfiguraciju odnosa.” (Buzsaki, 2006)

Na osnovu svega rečenog do sada vidimo da se može povući paralela između ponašanja određenih fizičkih sistema, poput feromagnetnih materijala, i neuronskih mreža. U oba slučaja u posebnim okolnostima, dolazi do pojave makro svojstava čije ponašanje prevazilazi ponašanje pojedinačnih elemenata. Tada nastaje makro emergentno svojstvo, čiji opis prevazilazi opis pojedinačnih neurona. Tada dolazi do fenomenalne transformacije.

2.3.

Veza svesti i integracije u kompleksnim dinamičkim sistemima

U poglavljima 2.1. i 2.2. smo videli kako razumevanje nelinearnih dinamičkih sistema pomaže razumevanju strukture i dinamike moždanih aktivnosti. U ovom poglavlju ćemo se detaljnije baviti odgovorom na pitanje kako pojmovi teorije dinamičkih sistema doprinose rešavanju problema svesti. U fokusu analize će biti pojmovi informacije, integracije i kompleksnosti.

2.3.1. Integracija omogućava koherentnu jedinstvenu svest

Iz perspektive prvog lica svesno iskustvo nam se uvek daje kao jedinstvena scena. Koliki god napor uložili i usredsredili pažnju na određeni segment svesnog iskustva, ne možemo u potpunosti odstraniti ostale elemente svesti. Istovremeno sa karakteristikom celovitosti svesti postoji i visoka diferenciranost svakog pojedinačnog svesnog iskustva. Upravo su jedinstvenost i diferenciranost fundamentalna svojstva svesti. Integracija funkcionalno odvojenih područja mozga dovodi do svesnog iskustva koje je istovremeno celovito i diferencirano.

Iako postoje područja bez kojih svest ne bi bila moguća, poput retikularne formacije unutar moždanog stabla i intralaminarnog jezgra unutar talamusa, svest je zavisna od velikog broja različitih područja mozga. Zamislite situaciju u kojoj se nalazite na nastupu vašeg omiljenog benda. Trenutno iskustvo dobijate aktivacijom većeg broja funkcionalno različitih područja unutar mozga. Aktivirano je primarno vizuelno područje *VI*, *FEF*, inferiorni parijetalni korteks, zatim primarni auditorni korteks *AI* koji se nalazi unutar superiorne temporalne vijuge, delovi talamusa itd. Ovo su samo neka od aktivnih područja prilikom svesnog iskustva navedene scene.

Svest doživljavamo kao jednu jedinstvenu scenu koja se zamenjuje drugom, koja je isto tako jedinstvena i kontinuirana. Nevažno je da li je u pitanju neusmereno maštanje ili precizno usmerena pažnja, ishod je uvek kontinuirano svesno iskustvo. Ono što čini svest izuzetnom je njena osobina da kao jedinstveno iskustvo istovremeno integriše veliki broj različitih stimulusa koji se neprekidno smenjuju. Sa teoretskog aspekta možemo govoriti o segmentima svesnog iskustva ali te segmente ne možemo doživeti. „Jedna neobična fenomenološka osobina svesti je da je po pravilu iz jednog dela – unitarna je. Bilo koji iskušeni svesni moment istovremeno uključuje senzorne ulazne informacije, posledice motorne aktivnosti, imaginaciju, emocije, prolazna sećanja, telesne senzacije i periferne granice. U bilo kojim uobičajenim okolnostima ne sastoji se od ‘samo ove olovke kojom pišem’, niti je mogu redukovati na to”. (*Edelman, 2004, str. 61*)

Sposobnost mozga da istovremeno integriše različite sadržaje nalazi se u specifičnoj organizaciji neuronskog sistema. Mozak je celina koja se stoji iz većeg broja funkcionalno i anatomski odvojenih delova. Možemo ga posmatrati kao kompleksan sistem, pa se stoga određena saznanja i hipoteze o kompleksnim sistemima mogu primeniti prilikom njegovog

izučavanja. Više puta do sada je isticano da u kompleksnim sistemima postoji tendencija integracije samostalnih odvojenih delova.

Kao primer možemo uzeti dva sistema, od kojih jedan uopšte nije integrisan, i drugi koji je u potpunosti integrisan. Odličan primer za neintegrirani sistem je idealan gas. Kod idealnog gasa je stanje svakog pojedinačnog molekula je u potpunosti nezavisno od stanja bilo kog drugog molekula u sistemu. Integriranost ovakvog sistema je jednaka nuli. Potpuno suprotno važi za savršenu kristalnu rešetku, koja predstavlja maksimalno integrirani sistem. Elementi kristalne rešetke se nalaze u interakciji i međusobno utiču jedni na druge. Među njima postoji razmena informacija. Integracija nervnog sistema nije potpuna kao u slučaju sa savršenim kristalom. Manji delovi neuronskog sistema su u određenoj meri nezavisni ali kako idemo ka većim područjima njihova integracija postaje sve veća. Posmatrano sa stanovišta celog sistema sistem ima globalnu integriranost ali i lokalnu slobodu.

2.3.2. Integracija kao smanjenje nezavisnosti elemenata sistema

Jačina integracije zavisi od toga koliko su jake međusobne interakcije među elementima sistema. „Podskup elemenata unutar sistema će konstituisati integrirani proces ako se, u određenom vremenskom opsegu, ovi elementi nađu u jačoj međusobnoj interakciji nego sa ostatkom sistema.” (*Edelman and Tononi, 2000, str. 120*) Podskup elemenata koji se nalaze u jačoj međusobnoj interakciji možemo nazvati funkcionalni klaster.

Jednostavan prikaz procesa integracije možemo videti na primeru izolovanog sistema u kome su grupe neurona u potpunosti funkcionalno odvojene i bez ikakve međusobne interakcije. U takvom sistemu neće biti međusobnih korelacija aktivnosti pojedinačnih jedinica. Neuroni ili neuronske grupe biće statistički nezavisni. U slučaju da postoji određena interakcija među elementima sistema došlo bi do narušavanja njihove statističke nezavisnosti. Odstupanje od statističke nezavisnosti elemenata, koje ukazuje na pojavu integriranosti, moguće je odrediti putem analize statističkih varijacija elemenata u odnosu na njihove obrasce aktivacije. Vrednost statističke varijacije pojedinačnih elemenata ćemo dobiti preko statističke entropije. Edelman se u analizi statističke zavisnosti elemenata sistema oslanja na Šenonovu (*Shannon*) informacionu teoriju. (*Shannon and Weaver, 1963*)

Najjednostavnije je informacionu entropiju predstaviti kao meru neizvesnosti u sistemu. (*Robinson, 2008*) Ukoliko pretpostavimo da sistem može da bude u određenom broju stanja (u

slučaju neuronskog sistema to su jedinstveni obrasci aktivnosti), entropija će biti logaritamska funkcija mogućih obrazaca aktivacije, gde se u obzir uzima i verovatnoća njihovog dešavanja. U sistemu S koji bi sadržavao n jedinica od kojih bi svaka imala dva moguća stanja, uključeno i isključno, sa jednakom mogućnošću dešavanja oba stanja, entropija svake jedinice bi bila izražena preko $\log_2(2)$ i iznosila bi 1 bit. U sistemu u kome su njegovi elementi nezavisni, broj stanja u kojima se sistem može nalaziti će biti 2^n . Zbog njihove statističke nezavisnosti sistem može biti u bilo kom mogućem stanju. Entropija sistema u tom slučaju će biti $\log_2(2^n)$, odnosno n bitova. Ukupna entropija sistema $H(S)$ će biti jednaka zbiru entropija njegovih jedinica $H(x_1)+H(x_2)+\dots H(x_i)$. Kod sistema kod kojih se određeni elementi nalaze u međusobnoj interakciji i kod koga je narušena statistička nezavisnost elemenata, ukupna suma će biti manja od zbira entropija pojedinačnih elemenata. U tom slučaju će događanje pojedinih obrazaca aktivnosti u sistemu biti verovatnije od drugih. Ova činjenica ukazuje na pojavu integracije u sistemu. (*Edelman and Tononi, 2000*) „Integracija se matematički definiše kao razlika između sume entropija pojedinačnih jedinica i njihove spojene entropije.” (*Sporns, 2010, str. 285*)

$$I(S) = \sum_{i=1}^n H(x_i) - H(S)$$

Integracija i entropija su usko povezane. Što je veća integrisanost sistema to je manja entropija. Veća integrisanost sistema znači i veću statističku zavisnost njegovih elemenata. Osim analize integrisanosti celog sistema moguće je uraditi i zasebnu analizu integrisanosti njegovih delova. Tako na primer, prethodno navedeni model možemo posmatrati kao integraciju vizuelnog sistema, koji je samo deo veće celine, koja obuhvata integrisanost celog mozga.

Jedan podskup elemenata sistema možemo označiti kao podsistem k sistema S . Statističku zavisnost elemenata u podistemu k možemo prikazati na sledeći način. Ukoliko se podsistem sastoji od p elemenata njegova integracija će biti prikazana kao $I(S_p^k)$ i ona će meriti ukupnu statističku zavisnost unutar tog podsistema. (*Edelman and Tononi, 2000*) Osim integrisanosti elemenata podsistema S_p^k , možemo posmatrati i integrisanost podsistema S_p^k i ostalih elemenata sistema ($S - S_p^k$), koji nisu deo tog podskupa. Statističku zavisnost podsistema i ostalih elemenata sistema možemo prikazati preko pojma zajedničke informacije ZI . (*MI - mutual information*)

Zajednička informacija pokazuje koliko nam jedna promenljiva govori o drugoj, odnosno koliko smanjenje neizvesnosti vezano za jedan element utiče na smanjenje neizvesnosti drugog elementa. (http://www.scholarpedia.org/article/Mutual_information)

MI prikazujemo kao:

$$MI(S_p^k; S - S_p^k) = H(S_p^k) + H(S - S_p^k) - H(S)$$

Zajednička informacija nam pokazuje kolika je ukupna statistička zavisnost nekog podsistema i drugih elemenata sistema koji nisu obuhvaćeni tim podskupom. To važi i u drugom smeru. Simetričnost je jedna od osnovnih karakteristika zajedničke informacije. Pa tako je:

$$MI(S_p^k; S - S_p^k) = MI(S - S_p^k; S_p^k)$$

Iako su i integracija i zajednička informacija vezani za statističku zavisnost među elementima sistema, među njima postoji bitna razlika. „Dok zajednička informacija beleži stepen statističke zavisnosti između dve jedinice (ili podskupa jedinica), integracija sistema meri ukupnu statističku zavisnost arbitrarno velikog skupa jedinica. Integracija može biti posmatrana kao multivarijantna generalizacija zajedničke informacije.” (*Mesquita, Barrett and Smith, 2010, str. 51*)

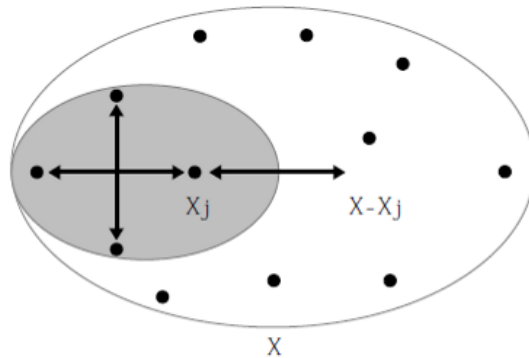
Sada kada smo definisali integraciju i zajedničku informaciju, možemo definisati i klaster indeks (CI). „Za izolovan sistem, on reflektuje relativnu snagu interakcija unutar podskupa elemenata u poređenju sa interakcijama između tog podskupa i ostatka sistema.” (*Edelman and Tononi, 2000, str. 123*) Za bilo koji podskup sistema i , CI će biti:

$$CI(S_p^k) = I(S_p^k) / MI(S_p^k; S - S_p^k)$$

Vrednost klaster indeksa $CI = 1$ ukazuje na to da je jačina međusobne povezanosti elemenata unutar podskupa jednaka jačini povezanosti tih elemenata sa ostatkom sistema. Visoke vrednosti CI ukazuju na snažnu povezanost elemenata unutar podskupa i formiranje funkcionalnog klastera.

Na slici 2.15 ilustrovan je funkcionalni klaster unutar sistema X . Funkcionalni klaster predstavlja podsystem X_j sa elementima koji se nalaze u snažnoj interakciji. Van tog podsistema

se nalaze drugi elementi sistema koji su u slabijoj interakciji sa podsistemom X_j što je naznačeno horizontalnom strelicom.



Slika 2.15 (Edelman and Tononi, 2000, str. 122)

Navedeni proračuni važe za izolovani sistem. Sistem unutar sebe može imati više funkcionalnih klastera. Kada bismo za sve moguće kombinacije podskupova unutar sistema izračunali klaster indeks, mogli bismo utvrditi da li sistem ima, i koliki broj, funkcionalnih klastera. Da bi podskup bio funkcionalni klaster, on unutar sebe ne bi smeo da sadrži manju grupu elemenata koja bi imala klaster indeks veći od klaster indeksa tog podskupa. U tom slučaju ne bismo mogli da govorimo o podskupu kao funkcionalnom klasteru, ali bismo mogli da uzmemo u razmatranje podskup elemenata unutar njega kao funkcionalni klaster.

Osim integracije druga fundamentalna osobina svesti jeste diferencijacija njegovog sadržaja. Pod diferencijacijom se podrazumeva postojanje gotovo beskonačno mogućih svesnih iskustava. Svako pojedinačno svesno iskustvo predstavlja samo jedan od ogromnog broja mogućih obrazaca neuronske aktivnosti. Zbog ove činjenice možemo reći da je svako svesno stanje visoko informativan događaj jer predstavlja smanjenje neizvesnosti među velikim brojem alternativa. Informativnost neuronskog sistema se prikazuje preko neuronske kompleksnosti. Na osnovu nje ćemo uvideti kako dolazi do smanjenja neizvesnosti u sistemu.

2.3.3. Neuronska kompleksnost

Postoji više definicija kompleksnosti. Različite nauke sa svojim specifičnim predmetima istraživanja poput čestica, društva, kompjutacija, bioloških sistema, imaju definicije prilagođene fenomenima unutar njihovog domena. U Zavisnosti od strukturalne i funkcionalne osobine sistema može se govoriti o njegovoj kompleksnosti. „Na primer, poređenje kompleksnosti dva

nervna sistema u različitim stanjima endogene ili izazvane aktivnosti može otkriti značajne razlike u njihovim dinamičkim organizacijama, dok ima veoma malo smisla kvantitativno porediti kompleksnost mobilnog telefona sa kompleksnošću mreže proteina u interakciji.” (Sporns, 2010, str. 281) Kompleksnost o kojoj ovde govorimo odnosi se na kompleksnost neuronskih sistema.

Kompleksnost je svojstvo sistema da stvori organizovane interakcije većeg broja nezavisnih elemenata unutar njega. Takve sisteme karakteriše funkcionalna koherentnost koja vodi zajedničkom emergentnom svojstvu sistema kao celine. Zahvaljujući tome kapaciteti i mogućnosti sistema prevazilaze kapacitete i mogućnosti pojedinačnih elemenata. Za objašnjenje kompleksnosti neuronskog sistema koristi se informaciona teorija koja omogućava statističku interpretaciju interakcija unutar sistema.

Jedan od najvećih izazova kod objašnjenja kompleksnosti jeste potreba za isključenjem spoljašnjeg posmatrača, koji bi neki sistem okarakterisao kao kompleksan. Da bi neki sistem zaista postojao, objašnjenje diskriminatornih sposobnosti sistema ne sme da sadrži spoljašnjeg posmatrača. Moramo pretpostaviti da se diskriminacija stanja, obrazaca aktivnosti, može objasniti iz ugla samog sistema, tako da sistem treba da posmatra samog sebe. Samo oni obrasci koji donose promenu i prave razliku unutar samog sistema mogu biti diskriminatorni. „Kako možemo meriti takve razlike koje prave razliku unutar sistema kakav je mozak?” (Edelman and Tononi, 2000, str. 127)

Kao i u slučaju merenja integrisanosti sistema, najjednostavniji način da prikažemo kako se meri informativnost sistema jeste da je razmatramo na slučaju izolovanog sistema. Ukoliko u sistemu izdvojimo određeni podskup njegovih elemenata moći ćemo da vidimo u kakvoj je interakciji taj podskup sa ostatkom sistema. Kada je reč o izolovanom sistemu, podskup elemenata će dobiti informaciju samo ukoliko promene obrazaca aktivnosti u ostatku sistema utiču na promenu obrazaca aktivnosti tog podskupa. Prilikom razmatranja integrisanosti sistema definisali smo MI (zajedničku informaciju) koja se može primeniti i u izračunavanju količine informacije sistema. Kada smo prethodno govorili o integraciji u sistemu, MI smo predstavili kao:

$$MI(S_p^k; S - S_p^k) = H(S_p^k) + H(S - S_p^k) - H(S)$$

Gde je $H(S_p^k)$ entropija u podskupu sistema, a $H(S - S_p^k)$ entropija u delu sistema koji se nalazi izvan podskupa S_p^k . Zajednička informacija predstavlja statističku zavisnost između podskupa i ostatka sistema. Kolika je statistička zavisnost među njima će se videti u odnosu na to koliko promene u stanjima ostatka sistema utiču na promenu stanja podskupa i obrnuto. Zajednička informacija će ukazati na to koliko se obrasci aktivnosti podskupa S_p^k razlikuju u odnosu na ostatak sistema $S - S_p^k$. Vrednost zajedničke informacije je zavisna od dve činjenice: od toga koliko je veliki broj mogućih stanja sistema i od njihove statističke zavisnosti. Ukoliko su entropije podskupa sistema S_p^k i ostatka sistema $S - S_p^k$ visoke i ukoliko je visoka njihova statistička zavisnost, onda će vrednost njihove zajedničke informacije takođe biti visoka.

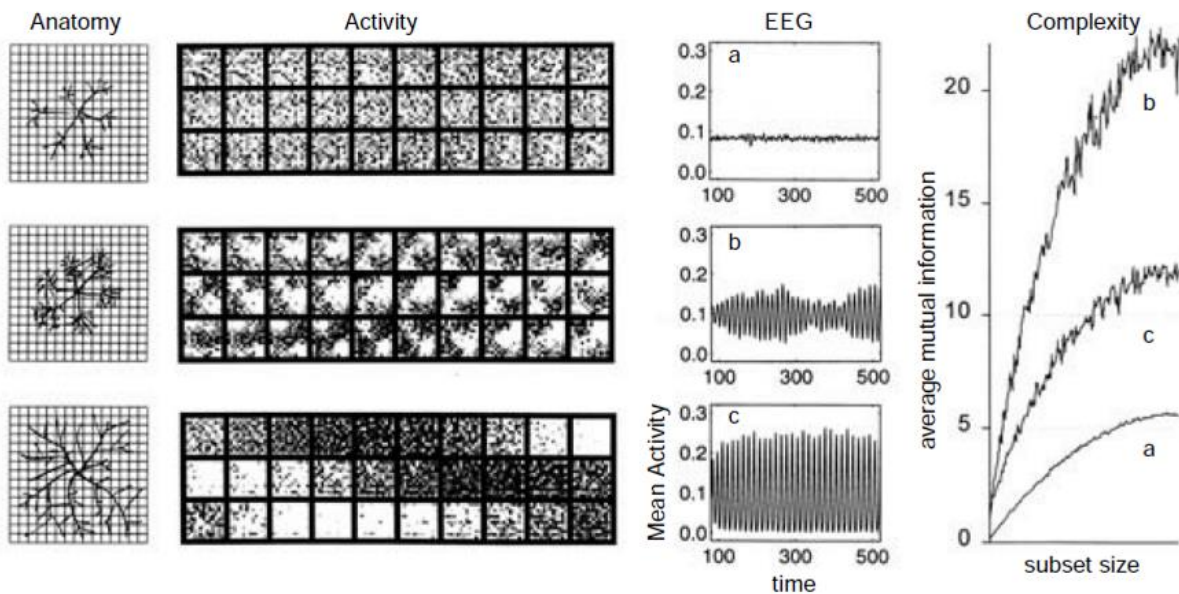
Na osnovu diferencijacije pojedinačnih obrazaca aktivnosti neuronskog sistema u odnosu na ostatak sistema, možemo utvrditi i koliko je neuronski sistem kompleksan. Do mere kompleksnosti sistema ćemo doći kada izračunamo koliko postoji diferencijacija svih mogućih podskupova unutar celog sistema. (Sporns, 2010) Kompleksnost ćemo dobiti tako što ćemo uzeti prosečnu vrednost zajedničke informacije između svih podskupova sistema i ostatka sistema. (Tononi, Sporns and Edelman, 1994) Neuronsku kompleksnost ćemo označiti sa (C_N):

$$C_N(S) = \sum_{k=1}^{n/2} \langle MI(S_p^k; S - S_p^k) \rangle$$

Neuronska kompleksnost sistema je direktno povezana sa distribucijom zajedničke informacije unutar sistema. (Olaf Sporns, 2010) Neuronska kompleksnost je izražena preko prosečne zajedničke informacije između svih mogućih bipartitija sa k elemenata (S^k) i ostatka sistema. Podskup mora da ima barem jedan element. U navedenoj formuli ona je prikazana kao $\langle MI(S_p^k; S - S_p^k) \rangle$. Indeks p ukazuje da je reč o svim kombinacijama od k elemenata. Iz prethodnog proizilazi da što je veća zajednička informacija između svakog podskupa S_p^k i ostatka sistema, to je veća neuronska kompleksnost sistema. Vrednost zajedničke informacije raste sa porastom broja različitih stanja koje podskup može da poseduje, a da ona utiču na promenu stanja u ostatku sistema. Kompleksnost znači da sistem može biti u velikom broju stanja posmatrano iz instrinzične perspektive. Prosečna vrednost MI će nam reći koliko je sistem kompleksan, jer je za visoku vrednost MI potrebno da sistem bude i integrisan (da funkcioniše kao celina) i da njegovi manji podskupovi imaju veću nezavisnost. U situaciji u kojoj ne postoji specijalizacija svi elementi rade jednu te istu stvar što sužava repertoar jedinstvenih stanja u sistemu, a ukoliko pak

nema međusobnog uticaja elemenata unutar njega on ne postoji kao jedinstveni sistem iz intrinzične perspektive. „Stoga, došli smo do važnog zaključka da visoka vrednost kompleksnosti odgovara optimalnoj sintezi funkcionalne specijalizacije i funkcionalne integracije unutar sistema.” (Edelman and Tononi, 2000, str. 130)

Neuronski sistem zdrave odrasle osobe se sastoji iz funkcionalno specijalizovanih područja koja su međusobno funkcionalno integrisana. Potpuna nasumičnost poput gasova ili potpuna integrisanost kao što je slučaj kod savršenih kristala, bi onemogućila kompleksnost. Ako posmatramo neuronski sistem možemo slobodno reći da se on dobrim delom ponaša kao izolovani sistem. Najveći deo komunikacije se odvija između njegovih grupa neurona bez direktne veze sa eksternim stimulusima. Jedan od primera njegove jedinstvene i izolovane komunikacije je stanje sna, kada mozak bez spoljašnjih stimulusa tokom *REM* faze proizvodi svesna iskustva. Svesna stanja su moguća samo u sistemima koji poseduju dovoljno veliki nivo kompleksnosti.



Slika 2.16 (Edelman and Tononi, 2000, str. 132)

Kompleksni sistemi omogućavaju da se funkcionalno različite grupe integrišu i formiraju celinu čija su svojstva više od zbira njenih delova (geštalt). Na sledećim primerima slika 2.16 prikazana je analiza kompleksnosti kroz simulaciju funkcionisanja primarnog vizuelnog korteksa mačke. Pretpostavlja se da mozak kičmenjaka uključujući i ljudski mozak pokazuje slične karakteristike. Da bi se utvrdila razlika u kompleksnosti sistema sa različitim arhitekturama,

simulacija je uključivala tri slučaja. Prvi slučaj predstavlja neuronski sistem mlade jedinke, drugi odrasle zdrave jedinke i treći starije obolele jedinke.

Simulirani vizuelni korteks se sastojao od 512 grupa neurona koje nisu dobijale eksterne stimuluse, već su grupe neurona spontano aktivirane. (*Tononi, Sporns and Edelman, 1994*) Na slici 2.16 možemo videti tri reda i četiri kolone. Redovi predstavljaju simulirane slučajeve starije obolele, zdrave odrasle i mlade jedinke. U prvom redu možemo videti vizuelni korteks starije obolele jedinke čiju anatomsku organizaciju karakteriše mala gustina povezanosti neurona. Takva arhitektura (prva kolona) dovodi do zasebnih aktivnosti pojedinačnih grupa neurona, ali nema veće međusobne povezanosti grupa unutar sistema. Aktivnost sistema možemo uporediti sa ponašanjem gasova.

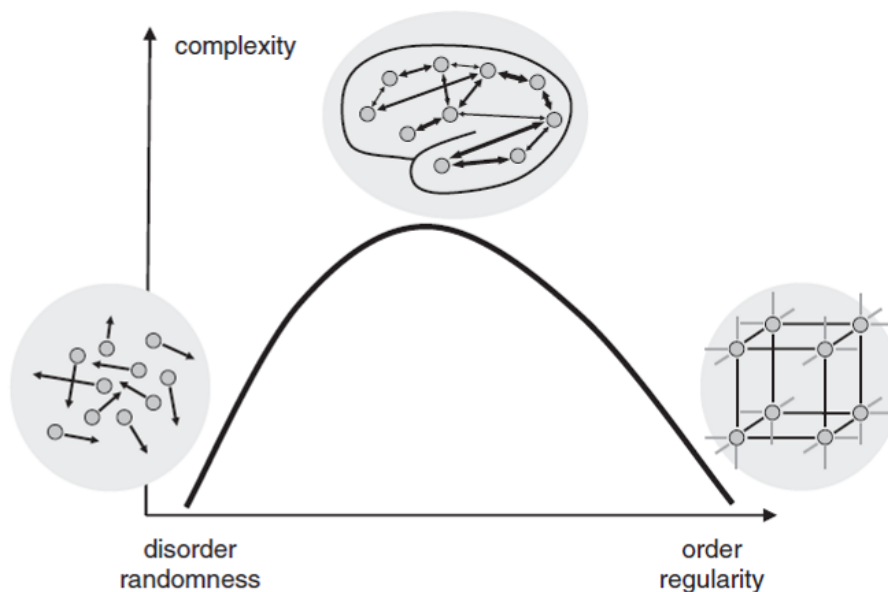
Druga kolona, u kojoj se nalazi 30 kvadrata, prikazuje obrasce aktivnosti 512 grupa neurona. Svaki kvadrat prikazuje aktivnost grupa u intervalu od 2 ms. U slučaju obolele jedinke očigledna je nasumična, nezavisna aktivnost svih grupa neurona. Ravna linija na *EEG-u* (treća kolona) ukazuje na nepostojanje sinhronizacije među neuronskim grupama. Zbog međusobne nezavisnosti elemenata u sistemu entropija će biti visoka a integracija mala. Posmatrano sa strane, takvo spontano ponašanje može delovati kao da sadrži puno informacija, odnosno može izgledati kao sistem koji ima veliki diskriminatorni kapacitet (može da bude u velikom broju stanja). Ali posmatrano iz ugla samog sistema, sistem nije funkcionalno integrisana celina već skup međusobno nezavisnih elemenata. Pošto različite grupe neurona nisu u međusobnoj zavisnosti i interakciji, promene stanja u tim grupama ne utiču na promenu stanja u ostatku sistema. Vrednost zajedničke informacije među neuronskim grupama sistema će biti niska kao i njegova kompleksnost (četvrta kolona). Edelman i Tononi informativnost posmatraju unutar sistema i definišu je kao „razliku koja pravi razliku”. Takav pojam preuzimaju od Batesona (*Bateson, 1972*). Stoga će sistem posedovati mali broj informacija, odnosno diskriminatornih stanja.

Treći red prikazuje simulaciju nepotpuno razvijenog primarnog vizuelnog korteksa, što je slučaj kod mladih jedinki. Arhitektura je razgranatija ali ne postoji veća lokalna povezanost. U ovom sistemu možemo videti veću sinhronizaciju među neuronskim grupama i jasan obrazac aktivnosti koji ukazuje da postoji velika povezanost unutar sistema. Gotovo da se sve grupe neurona aktiviraju i deaktiviraju zajedno. *EEG* (treća kolona i treći red) pokazuje da sve one osciluju istovremeno. Takva hipersinhronizacija je karakteristična za faze dubokog sna i

epileptične napade. Ona uzrokuje visoku integrisanost sistema ali u sistemu ne postoji veća segregacija što je neophodno za svesna stanja. Grupe neurona su aktivne istovremeno i sistem ne može biti u velikom broju različitih stanja. U ovakvom sistemu je niska vrednost entropije. Zbog velike povezanosti i integracije među elementima sistema, vrednost prosečne zajedničke informacije je visoka. Međutim, iako postoji visoka vrednost prosečne zajedničke informacije u sistemu, sa povećanjem broja elemenata u podskupu ne dolazi do povećanja zajedničke informacije sa ostatkom sistema. To ukazuje na nepostojanje funkcionalnih klastera. Broj diskriminatornih stanja ne raste sa povećanjem podskupova i kompleksnost sistema je na niskom nivou. Ovakav sistem je veoma integrisan ali u njemu nema funkcionalne specijalizacije koja je neophodna za vršenje diskriminacija i nastanak svesti.

Da bi sistem imao visok nivo kompleksnosti potrebno je da istovremeno bude integrisan i da omogući diferencijaciju svojih delova. Zdrav mozak odrasle osobe poseduje ta svojstva. U takvom vizuelnom sistemu dolazi do povezivanja i korelacija među grupama neurona koje poseduju određene zajedničke osobine. Tako se na primer grupe neurona, koje se aktiviraju pri nekoj prostornoj orijentaciji, češće međusobno povezuju u odnosu na druge grupe neurona. Osim toga postoje anatomske organizacione pravilnosti. Sa povećanjem topografske razdaljine između grupe neurona dolazi do smanjenja njihove povezanosti.

Na slici 2.16 je ovakav sistem predstavljen u drugom (srednjem) redu. Sistem pokazuje visok stepen integracije, ali i dinamičko svojstvo da tokom vremena dolazi do pregrupisanja i novih interakcija neuronskih grupa. Grupe neurona koje su funkcionalno povezane pokazuju mnogo veću sinhronizovanost od grupa koje to nisu. U pojedinim trenucima ceo sistem pokazuje sinhronizovanost i osciluje u fazi. Primeri takvog stanja su stanje budnosti i *REM* faza sna. Vrednosti entropije u ovakvom sistemu je visoka ali je visoka i prosečna zajednička informacija. Za razliku od prethodnog slučaja, ona se povećava sa povećavanjem broja elemenata podskupova. To znači da veći podskup ima veći uticaj na ceo sistem. Promene stanja u tim podskupovima utiču na promenu stanja u ostatku sistema, što važi i obratno. Ova činjenica pokazuje da je sistem istovremeno integrisan i diferenciran. Njegova kompleksnost je visoka jer se sa povećanjem elemenata u podskupu povećava broj stanja koje taj podskup može da proizvede u sistemu (povećava se zajednička informacija).



Slika 2.17 (Sporns, 2010, str. 282)

Neuronska kompleksnost C_N omogućava da izmerimo odnos dva suštinska svojstva organizacije neuronskog sistema, segregaciju i integraciju. „Kompleksnost je visoka kada red i nered koegzistiraju, a niska kada jedno od ta dva nadvlada.“ (Sporns, 2010, str. 282) slika 2.17. Neuronska kompleksnost je visoka kod sistema kod kojih postoji veća nezavisnost podskupova sa manje elemenata i gde sa povećanjem elemenata podskupova raste i njihova zavisnost od ostatka sistema.

2.3.4. Neuronska kompleksnost i prostor stanja

Sve sisteme kojima smo do sada pripisivali svesti odlikuje visok nivo kompleksnosti. Karakteristika kompleksnosti jeste sposobnost sistema da istovremeno integriše kauzalne uticaje unutar njega i omogućava autonomiju delova sistema. Stanje u kome su ova dva odnosa izbalansirana obiluje veoma širokim repertoarom stanja u kojima se sistem može naći. U metastabilnom stanju maksimizovan je prostor stanja sistema. Istraživanja koje su sproveo Taljacuki (Tagliazucchi) sa kolegama pokazuju vezu između svesti i prostora stanja koje sistem može da eksploatiše. Ispitanicima je davan propofol, anestetik koji inhibira komunikaciju među neuronima i dovodi do gubitka svesti. Pokazano je da pod uticajem propofola dolazi do redukcije frontotalamičkih vremenskih korelacija dugog dometa. Dejstvo propofola je drastično smanjilo mogući prostor stanja neuronskog sistema. Za svesna stanja je karakteristično da neuroni tokom

međusobne komunikacije ispituju sve moguće puteve. Propofol je sprečio spontanu, „istraživačku“ razmenu informacija pa se komunikacija među njima odvijala najdirektnijom rutom. „Ovo sugerije da se spontana aktivnost mozga može razumeti kao uvek-promenljivo (ili metastabilno) istraživanje širokog repertoara puteva ponuđenih strukturalnom povezanošću koja leži u osnovi, opseg takvih istraživanja potencijalno zavisi od stanja mozga, sa promenljivim repertoarima koji odgovaraju različitim stepenima svesnosti.“ (*Tagliazucchi, Chialvo, Siniatchkin, Amico, Brichant, Bonhomme, Noirhomme, Laufs and Laureys, 2016*)

Važnost prostora stanja (uzročno-posledičnog repertoara) za svest možemo naći i kod Aksela Kleremansa (*Axel Cleeremans*) u njegovoj tezi radikalne plastičnosti. (*Cleeremans, 2001*) Prema njemu svest nije intrinzično svojstvo mozga, već je posledica učenja mozga o sebi samom. Svest je rezultat konstantne redeskrpcije i stvaranja metareprezentacija. Da bi mogao da uči o sebi potrebno je da ima mogućnost istraživanja svog mogućeg prostora stanja.

Da svesna stanja imaju veze sa veličinom mogućeg prostora stanja koje nam pruža integracija različitih delova korteksa možemo videti na sledećem primeru. Uzmimo za primer dve situacije. Jednu u kojoj se osoba nalazi u sivoj sobi i gleda u sivu jabuku. I drugu, u kojoj se osoba nalazi u sivoj sobi, gleda u sivu jabuku, ali je na njoj primenjena optogenetička tehnika inhibiranja neurona u području V8 koje je zaduženo za procesiranje boja. Ako pitamo osobu koje je boje jabuka, da li će odgovori biti identični i u prvom i u drugom slučaju? Na prvi pogled može delovati da će osoba u oba slučaja reći da je jabuka siva, jer se u oba slučaja osoba nalazi u sivoj sobi i gleda u sivu jabuku. Pošto je jabuka zaista siva neuroni zaduženi za procesiranje boje neće biti aktivni ni u prvom slučaju ni u drugom slučaju. Međutim, postoji jedna jako važna razlika između navedena dva slučaja. Dok u prvom slučaju neuroni u V8 imaju mogućnost da se prazne, oni to u drugom slučaju nemaju. U prvom slučaju se oni ne prazne zato što ne postoji stimulus iz okruženja (boja) koji bi bio uzrok njihovog pražnjenja. U drugom slučaju neuroni nemaju mogućnost da se aktiviraju u prisustvu boje, jer su kao što je navedeno inhibirani optogenetičkom tehnikom. Čak iako bi se pojavila zelena boja inhibirani neuroni se ne bi praznili. Ovo je ključna razlika. Sama mogućnost pražnjenja neurona u prvom slučaju znači da su ti neuroni deo uzročno-posledičnog repertoara. U drugom slučaju oni su u potpunosti isključeni iz uzročno-posledičnog delovanja, zbog čega dolazi do redukcije ukupnog broja dimenzija i smanjenja celokupne uzročno-posledične strukture. Dolazi do smanjenja mogućeg prostora stanja. U prvom slučaju bi osobe videle sivu boju, a u drugom u kojem su deaktivirani neuroni u V8, osobe ne bi

mogle uopšte da prepoznaju bilo koju boju. Imale bi ili delimičnu ili potpunu ahromatopsiju. Do istih zaključaka dolaze i Koen i Denet u „savršenom eksperimentu“. (*Cohen and Dennett, 2011*)

2.3.5. Uticaj okruženja na neuronsku kompleksnost (poklapanje kompleksnosti)

U prethodnom delu smo analizirali osobine kompleksnih sistema i predstavili istraživanja koja ukazuju da i mozak sa svojom anatomskom i funkcionalnom organizacijom spada u njih. Ostalo je pitanje šta je uzrok njegove kompleksnosti i koja je njena uloga?

Neuronski sistem je posledica prirodne selekcije koja traje već stotinama miliona ili više milijardi godina. Njegov opstanak zavisi od toga koliko dobro prilagođava organizam okruženju. Stoga mora da na adekvatan i što bolji način odgovori na zahteve fizičkog sveta. Isto tako poreklo kompleksnosti neuronskog sistema leži u dugom procesu evolucije. Tokom vremena su prostiji sistemi postajali sve složeniji. Uzrok povećanja kompleksnosti neuronskog sistema je proces selekcije, koji započinje svoje delovanje kroz fizički razvoj a zatim ga nastavlja kroz interakciju sa okruženjem.

Pomoću svojih specijalizovanih grupa neurona, neuronski sistem vremenom uspostavlja pravilne odnose sa okolinom. Uticaj statistički strukturiranog okruženja na sistem ogleda se u statističkom uređenju samog sistema. Proces selekcije omogućava promene povezanosti u sistemu tako da oni budu u relaciji sa spoljašnjim statističkim regularnostima. Kompleksnost neuronskog sistema je uzrokovana neprekidnim dinamičkim odnosom sa okruženjem koja i samo poseduje ogromnu kompleksnost. Sistem koji pokaže visok nivo poklapanja sa složenim, kompleksnim okruženjem, pokazivaće i sam visok stepen kompleksnosti. Zbog toga postoji indikacija da kompleksnije okruženje zahteva kompleksnije sisteme koji se poklapaju sa njim. Krajnji rezultat kalibracije organizma na okruženje je adaptacija.

Do sada smo neuronsku kompleksnost posmatrali u odnosu na izolovani sistem. Ukoliko želimo da upotpunimo analizu funkcionisanja i organizacije mozga, moramo se okrenuti i njegovom odnosu sa okruženjem. Signali koji dolaze iz okruženja poseduju statističku strukturu. Pri prijemu ti signali aktiviraju grupe neurona u senzornom području što uzrokuje jačanje ili slabljenje sinaptičkih veza među njima. Dalje se ti signali distribuiraju širom mozga gde takođe procesom selekcije dolazi do jačanja pojedinih konekcija. Kako vreme prolazi, pod uticajem mnoštva spoljašnjih stimulusa, sistem se sve više oblikuje prema strukturi spoljašnjeg sveta.

Dolazi do porasta poklapanja funkcionalne intrinzične povezanosti neuronskog sistema i statističke strukture spoljašnjih signala.

Da bismo objasnili specifičan odnos između intrinzičnih konekcija i spoljašnjih stimulusa, potrebno je da uvedemo pojam poklapanja kompleksnosti C_M (*Complexity matching*). Poklapanje kompleksnosti C_M predstavlja vrednost koja ukazuje na promenu neuronske kompleksnosti C_N , koja dolazi kao posledica uticaja spoljašnjih stimulusa na neuronski sistem. C_M ukazuje na to koliko intrinzične korelacije unutar neuronskog sistema odgovaraju statističkoj strukturi stimulusa iz okruženja. Kada su intrinzične konekcije nasumično organizovane, tada gotovo da nema poklapanja sa spoljašnjim stimulusom i vrednost C_M je niska. „Stimulusi koji nisu koordinisani sa intrinzičnom dinamičkom organizacijom sistema će imati malo uticaja, zato što se oni ‘ne integrišu dobro’ sa spontanom aktivnošću sistema.” (*Sporns, 2010, str. 287*) U slučaju kada su intrinzične konekcije modifikovane spoljašnjim stimulusom, tako da se pojačavaju one korelacije koje su unapređene spoljašnjim stimulusom, vrednost C_M je visoka. Kada je vrednost C_M visoka, onda zajednička informacija između senzornih područja mozga (zaduženih za prvobitan prijem spoljašnjeg stimulusa) i drugih delova mozga, dovodi do globalnog povećanja zajedničke informacije među funkcionalno specijalizovanim delovima rasprostranjenim širom mozga. (*Tononi, Sporns and Edelman, 1996*)

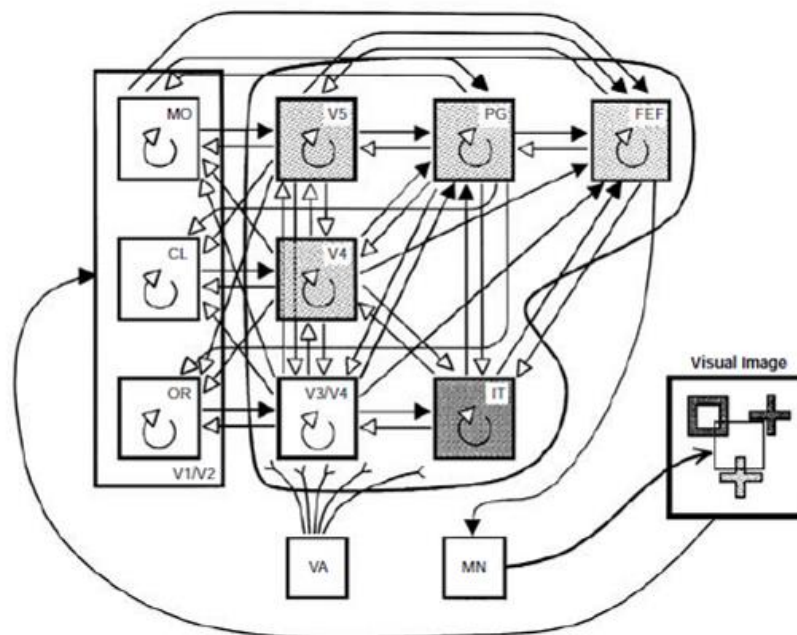
„S obzirom da MI na skupu svih biparticipija obuhvata sve korelacije unutar sistema, C_M meri do kog opsega su korelacije koje su intrinzične sistemu povećane ili smanjene, prosečno, signalima koji su prikupljeni iz okruženja.” (*Tononi, Sporns and Edelman, 1996, str. 3423*) Visoko poklapanje kompleksnosti ukazaće na veliku promenu kompleksnosti sistema pod uticajem spoljašnjih stimulusa. Ono je pokazatelj koliko intrinzična funkcionalna konektivnost odgovara statističkoj strukturi spoljašnjih stimulusa.

U ovom poglavlju smo kroz nekoliko primera prikazali strukturu i dinamička svojstva kompleksnih sistema. Predstavljeni su i osnovni pojmovi potrebni za razumevanja kompleksnosti neuronskog sistema: zajednička informacija, entropija, klaster indeks, integracija, neuronska kompleksnost i poklapanje kompleksnosti. Dosadašnja istraživanja neuronskih mreža ukazuju na sličnosti funkcionalnih i strukturalnih promena neuronske organizacije sa modelima kompleksnih sistema u kompjuterski simuliranim uslovima. Uprkos tome trenutno ne postoji pouzdan i opšteprijehvatljiv način za merenje kompleksnosti empirijskim putem u pravim fizičkim sistemima. Unutar neuronskog sistema postoji ogromna razmena informacija između neuronskih grupa čiju

dinamičku karakteristiku možemo pratiti zahvaljujući savremenim metodama. Opažanje takvih dinamičkih i strukturalnih svojstava neuronskog sistema nam daje za pravo da ga smatramo kompleksnim, ali još uvek njegovu kompleksnost ne možemo precizno kvantifikovati.

2.3.6. Analiza procesa integracije putem simulacije vizuelnog sistema

Mnogobrojne tehnike za praćenje neuronskih aktivnosti (*neuroimaging*), poput *FMRI*, *EEG*, *MEG*, *PET*, daju nam uvid u to kako na globalnom nivou funkcionišu neuronske mreže, ali sve one poseduju ograničenja. Ta ograničenja su najvidljivija kod praćenja dinamike aktivnosti i komunikacije pojedinačnih neurona i sinapsi. Postoje druge tehnike, poput elektroda za praćenje aktivnosti pojedinačnih neurona, ali one sa druge strane nemaju mogućnost praćenja većeg broja neurona i više delova mozga istovremeno. Zbog toga se za analizu integracije većeg broja neurona koriste matematički modeli koji se testiraju putem super brzih računara.

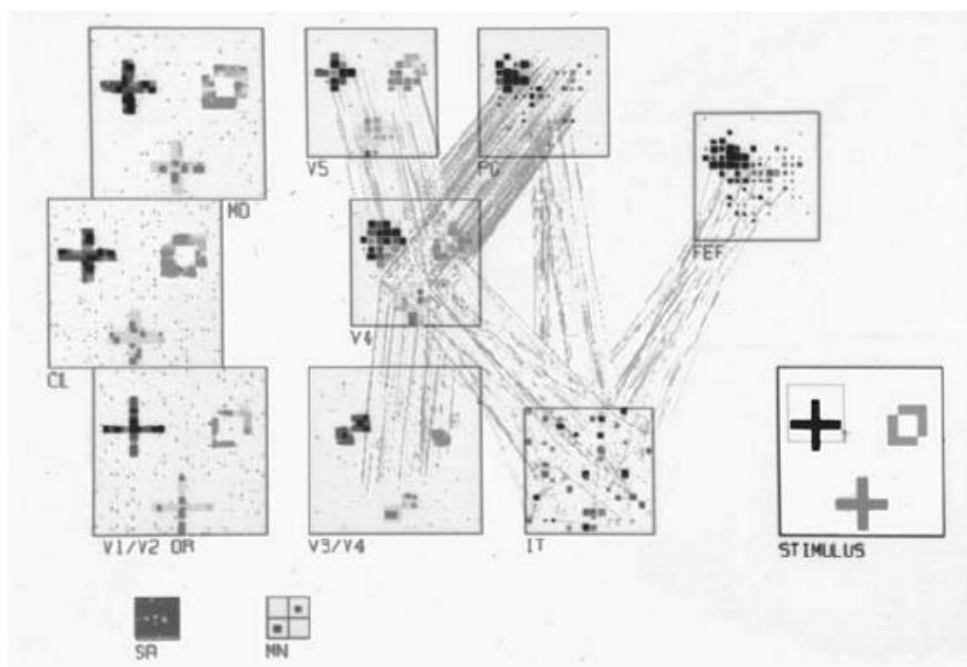


Slika 2.18 (Edelman and Tononi, 2000, str. 116)

Model na slici 2.18 prikazuje kako veštački stvoren sistem vrši simulaciju vizuelnog sistema i kako dolazi do integracije funkcionalno odvojenih delova, odnosno rešenja problema povezivanja (*binding problem*). (Edelman and Tononi, 2000) Simulacija pokazuje kako se neuronske grupe, koje paralelno procesiraju različite vizuelne osobine objekata poput oblika, pokreta i boje, spontano integrišu i stvaraju jedinstvenu sliku u kojoj su istovremeno uključene

sve navedene osobine. Sistem se ukupno sastojao od 10,000 jedinica koje su simulirale neurone i koje su ostvarivale million međusobnih konekcija. Sve jedinice su raspoređene u 9 grupa čiji je rad simulirao devet grupa neurona. Tih devet grupa je povezano u 3 strukture gde svaka struktura procesira jednu od sledećih osobina: oblik, boju i kretanje. Neuroni koji pripadaju funkcionalno podeljenim grupama se aktiviraju samo na određena svojstva stimulusa koji dolazi iz okruženja. Jednu grupu neurona aktivira samo boja, drugu samo oblik, treću kretanje. Zbog toga će i njihova aktivacija imati specifičnu funkcionalnu ulogu unutar sistema.

Osnovni preduslov je bio da ne postoji nadređena izvršna funkcija koja bi oblikovala i usmeravala interakcije funkcionalno različitih delova. Jedino usmerenje i okvir njihovog delovanja predstavlja vrednosni sistem čija je uloga da difuznim projekcijama šalje informacije o poželjnoj ili nepoželjnoj reakciji. U realnom neuronskom sistemu ulogu vrednosnog sistema imaju subtalamička jezgra (*npr. locus coeruleus, raphe nucleus, itd.*) koja vrše difuzne projekcije više vrsta neuromodulatora širom mozga.



Slika 2.19 (Edelman and Tononi, 2000, str. 117)

Grupe jedinica koje simuliraju neurone u primarnom vizuelnom korteksu označene su *V1*. Njihova glavna funkcija jeste reagovanje na osnovne prostorne elemente i oblike i pozicije ivica unutar vidnog polja. Neuroni u inferotemporalnom korteksu (označeni sa *IT*) se aktiviraju

prilikom susreta sa objektima koji imaju odgovarajući oblik. Područje *V4* obuhvata neurone koji odgovaraju grupi objekata koji poseduju određenu boju. Neuroni u području *V5* odgovaraju isključivo objektima koji se kreću. Niti neurone u području *V4* aktiviraju pokreti ili oblici, niti neurone u *V5* aktiviraju oblici i boje. Područje *MN* (sadrži motorne neurone) je simuliralo pokrete očiju, *PG* oblast precentralnog girusa, a *VA* vrednosni sistem sa difuznim projekcijama neuromodulatora. Nekoliko zadataka je postavljeno pred navedeni model, gde je svaki zadatak podrazumevao međusobnu integraciju različitih područja. Osnovni zadatak postavljen pred sistem je da prepozna crveni krst među različitim elementima vidnog polja. (slika 2.19)

Istovremeno sa crvenim krstom su se pojavljivali zeleni krst i crveni kvadrat. Da bi se na uverljiv način oponašao ljudski vizuelni sistem, simulirano je slobodno kretanje oka preko elemenata vidnog polja. Kako bi bio u stanju da prepozna crveni krst, sistem je uslovljen vrednosnim sistemom, koji je vršio difuzne projekcije svaki put kada je oko nailazilo na crveni krst, bez obzira u kom delu vidnog polja se nalazi. Takva uslovljenost dovodi do jačanja veza među jedinicama koje su aktivne u trenucima kada oko naiđe na crveni krst. Zajednička karakteristika jedinica unutar funkcionalno podeljenih područja jeste njihova istovremena aktivacija prilikom susreta sa crvenim krstom. Pogotovo je izražena aktivnost u područjima *PG*, *FEF* (*frontal eye field*) i *V4*. Njihova povećana aktivnost utiče na usmeravanje kamere ka crvenom krstu koji se na slici nalazi u gornjem levom uglu. Da bi mogao da izvrši prepoznavanje, sistem je morao da integriše informacije dobijene od jedinica koje su zadužene za prepoznavanje pojedinačnih osobina objekata.

Vrednosni sistem i dovoljan broj proba je vremenom uticao na jačanje veza među jedinicama, što je dovelo do veće preciznosti. Posle izvesnog perioda, nakon dovoljno ponavljanja, sistem je bio u stanju da prepozna crveni krst u velikom broju slučajeva. Navedeni primer pokazuje kako se uspostavlja spontana sinhronizovana aktivnost jedinica koje se aktiviraju u prisustvu različitih atributa istog objekta. Jedinice koje su odgovarale objektima sa drugačijim svojstvima nisu bile sinhronizovane jer ih nije uslovljavao vrednosni sistem pa nije došlo do jačanja njihovih međusobnih veza. Sinhronizacija se odvija izuzetno brzo. Vremenski okvir koji je potreban za integraciju je između 100 i 250 milisekundi.

Prikazani model je uspeo da izvrši integraciju različitih delova vizuelnog sistema i proizvede diskriminatorne odgovore. Integracija je posledica procesa koji obuhvata celokupan sistem i do nje je došlo zahvaljujući paralelnom procesiranju i brzom recipročnoj razmeni

informacija. Ne postoje neki pojedinačni neuroni ili njihove grupe koje možemo označiti kao zaslužne za stvaranje koherentnog odgovora. Integracija je sistemsko svojstvo.

Nijedan neuron nije bio prethodno predviđen za konekcije sa neuronima iz drugih područja. Kroz dinamički proces u kome su stimuli uticali na sistem došlo je do selekcije određenih grupa neurona i njihove međusobne integracije. „Ove simulacije otkrivaju kako rienti može da reši problem povezivanja, kombinujući neuronske odgovore raspoređenih kortikalnih područja kako bi se postigla sinhronizovanost i globalna koherentnost.” (*Edelman and Tononi, 2000, str. 119*)

Vrednost ovog modela se ogleda u sličnosti sa ljudskim kognitivnim sistemom. Eksperimenti pokazuju da ukoliko se čovek susretne sa više od nekoliko objekata koji imaju različite osobine poput boje, oblika, dimenzije može doći do pogreške koji atribut pripada kojem objektu. Navedeni sistem je takođe ispoljio osobinu ograničenog kapaciteta. Pri istovremenom prikazivanju više od tri objekta dolazilo je do pogrešnog spajanja atributa. Oblici i boje nisu adekvatno uparivani. Greške do kojih je dolazilo nisu zavisile samo od broja objekata u vidnom polju već i od njihovih atributa.

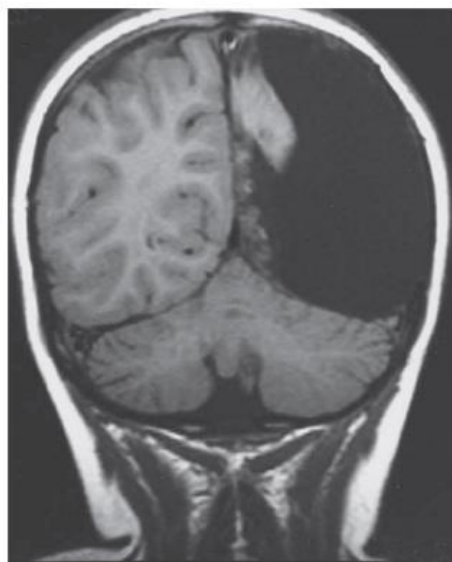
Generalni zaključak je da do grešaka u sistemu dolazi zbog nekonzistentnih obrazaca korelacija između različitih delova sistema. Integracija je zahtevna i kompleksna kao proces i stoga je moguće adekvatno integrisati ograničeni broj informacija. Organizacija koju smo videli na primeru vizuelnog sistema odvija se i među širim delovima mozga.

2.3.7. Analiza integracije u slučajevima neuroloških poremećaja

Najupečatljivije primere uloge integracije u formiranju koherentnog iskustva možemo naći kod različitih neuroloških poremećaja. Poznat je fenomen pod imenom *anosognosia* koji nastaje kao posledica oštećenja nastalih moždanim udarom. (*Edelman, 2004*) (*Gazzaniga, 2008*) Nakon moždanog udara dolazi do lezija u predelu desne hemisfere što izaziva paralizu leve strane tela. Ono što je jako zanimljivo u slučaju ovog sindroma je da osoba kod koje je dijagnostikovana *anosognosia* neće biti u stanju uopšte da primeti da je paralisana. Ukoliko joj se postavi pitanje da li može da pomeri svoju levu ruku i nogu ona će na to potvrdno odgovoriti. U osnovi ovog fenomena stoji potreba neuronskog sistema za koherencijom. Poznat je i Antonov sindrom kod koga osoba sa oštećenjima u delovima vizuelnog koretksa poriče da je slepa iako ne može da vidi. Interesantno je da ove osobe ne poriču to sa namerom da nekog prevare, već one nisu svesne

činjenice da ne vide ili da ne mogu da pokreću levu stranu tela. Osnovni razlog zbog koga se ovo dešava je očigledna potreba sistema da se reintegriše. Svaki nedostatak i odsustvo određenog segmenta se pokušava nadoknaditi novim sintezom gde je se koherencija sistema postavlja kao najvažniji princip. Domen svesnog iskustva se može širiti i skupljati ali on ostaje jedinstven. (*Prigatano and Schacter, 1991*)

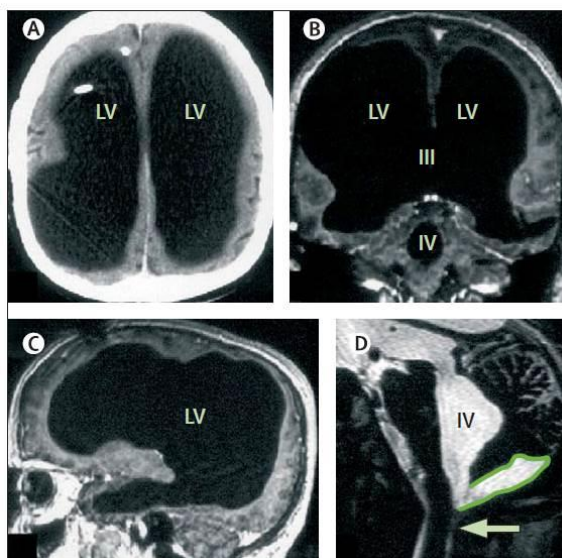
Na slici 2.20 možemo videti snimak (*MRI*) sedmogodišnje devojčice kojoj je odstranjena cela leva hemisfera zbog Rasmusenovog encefalitisa. (*Baars and Gage, 2010, str. 134*) Nakon postoperativnog perioda devojčica je mogla da se igra, govori i ponaša uobičajeno. Izuzetak su bile manje motorne poteškoće desnog dela tela. Ovaj slučaj pokazuje koliko je velika plastičnost mozga. Uz napomenu, da su ovakvi slučajevi mogući samo ukoliko se operacija uradi u ranom detinjstvu. Tada razvoj još nije završen pa je moguće da desna strana korteksa preuzme funkcionalne uloge leve. Na snimku se vidi da delovi mozga poput moždanog stabla i talamusa u potpunosti sačuvani što je od presudne važnosti za pojavu svesti. Radikalni slučajevi poput ovoga pomeraju granice razumevanja fizičkih korelata svesti i između ostalog pokazuju da je za svesno iskustvo dovoljno postojanje jedne hemisfere korteksa.



Slika 2.20 (*Baars and Gage, 2010, str. 134*)

Sva dosadašnja istraživanja pokazuju nemogućnost preciznog postavljanja svesti u neko posebno moždano područje. Međutim, nisu sva područja od jednake važnosti za svest. Tako na primer cerebelum koji sadrži po procenama preko 2/3 svih neurona u mozgu (*Herculano-Houzel, 2009*) ne samo što nije dovoljan nego nije ni nužan deo za nastanak svesti.

Još jedan od primera je i slučaj četrdesetčetvorogodišnjeg Francuza, oca dvoje dece, kod koga je zabeleženo drastično uvećanje lateralne, treće i četvrte moždane komore. Na slici 2.21 možemo videti koliko je veliki obim oštećenja njegovih moždanih struktura. Gotovo 90% površine mozga mu je zahvaćeno oštećenjem. Iako su neki autori (*Crick and Koch, 2005*) uzimali klaustrum kao deo mozga koji je nužan za nastanak svesti, vidimo da ga Francuz ne poseduje a poseduje svesno iskustvo. Od neoštećenih delova ostali su mu moždano stablo, deblji deo moždane kore i cerebelum.



Slika 2.21 (*Feuillet, Dufour, Pelletier, 2007, str. 262*)

Cerebelarna agenezija (*Cerebellar agenesis*) je veoma redak, svega nekoliko puta zabeležen sindrom. Osobnost sindroma je nepostojanje cerebeluma što donosi određene kognitivne i motorne poremećaje ali osobu ne lišava svesti. Poslednji takav slučaj zabeležen je kod Kineskinje koja je u trenutku otkrića sindroma imala 24 godine. (*Yu, Jiang, Sun and Zhang, 2015*) Na slici 2.22 možemo videti da se na mestu na kome bi trebalo da postoji cerebelum, nalazi šupljina ispunjena cerebrospinalnom tečnošću. Prilikom ispitivanja vezanih za odrastanje devojke utvrđeno je da je imala poteškoće u razvoju, koje su se pre svega odnosile na motoričke aktivnosti (tek sa 7 godina je počela da hoda samostalno) i govor (sa 6 je počela razložno da govori). Ispitivanja koja su sprovedena u trenutku kada je već imala 24 godine nisu ukazivala na bilo kakve veće probleme u upotrebi govora, osim na određena podrhtavanja u glasu. Nešto veći problemi su opaženi kod motoričkih sposobnosti, kod kontrole balansa, skladnosti pokreta i hoda.

Zahvaljujući plastičnosti mozga određeni strukturalni nedostaci se nadomešćuju reorganizacijom i usmerenjem drugih moždanih kapaciteta.



Slika 2.22 (Yu, Jiang, Sun and Zhang, 2015, str. 2)

Prethodni primeri donose novi pogled na shvatanje svesti. Nastanak svesti ne zavisi isključivo od broja neurona, pošto je u ovom slučaju nedostajalo više od polovina neurona u mozgu, već od načina na koji su oni organizovani i na koji vrše razmenu informacija. Jedno od novijih istraživanja (*Herculano-Houzel, 2009*) ukazuje da se u cerebelumu nalazi 69 milijardi neurona, a ukupno u mozgu 86 milijardi.

Zbog specifičnosti i kompleksnosti mozga, empirijska istraživanja koja se bave mehanizmima moždane integracije su od neprocenjivog značaja. Šezdesetih godina dvadesetog veka Rodžer Speri (*Roger Sperry*) je zajedno sa kolegama, među kojima je bio i Majkl Gazaniga (*Michael Gazzaniga*), izvršio niz operacija na pacijentima koji su imali jake epileptične napade. Kako bi ih prekinuli vršili su korpus kalozotomiju, operativni zahvat koji podrazumeva hiruško presecanje korpus kalozuma, što uzrokuje prekid većine komunikacija između dve hemisfere. Korpus kalozum možemo da posmatramo kao „neuronski autoput“ koji se sastoji od oko 200 miliona nervnih vlakana, i čija je osnovna uloga da omogući brzu i paralelnu razmenu informacija između dve hemisfere. Razdvajanje ovog snopa vlakana skoro u potpunosti prekida komunikaciju između leve i desne hemisfere, što dovodi do neobičnih posledica.

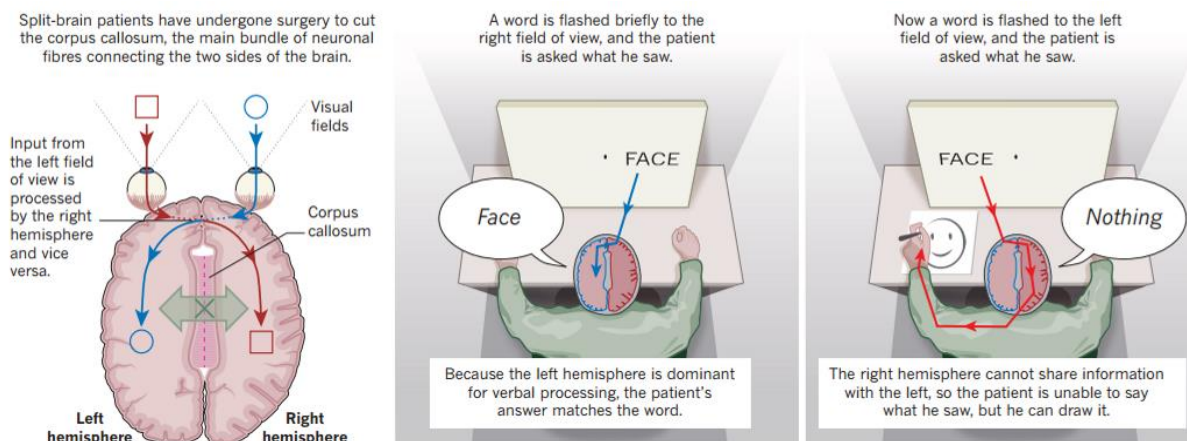
Navedeni zahvati su otkrili do koje mere su lateralizovane funkcije mozga. „Jedna od najradikalnijih istina dobijena iz decenija istraživanja podeljenog mozga je da ljudski mozak nije kompjutaciona naprava za sve svrhe, već je nasuprot tome organizovan na modularan način, sastojeći se od specijalizovanih kola koja su izvajana evolucijom kako bi efikasno izvodila specifične funkcije.” (*Gazzaniga, 2009, str. 1247*) Osim operativnog presecanja korpus kalozuma poznati su i slučajevi agenezije korpus kalozuma (urođenog nedostatka), gde su takođe primećeni poremećaji u interhemisfernoj komunikaciji (diskonekcioni hemisferni sindrom).

Slučajevi sa razdvojenim korpus kalozumom doprineli su boljem razumevanju stila procesiranja dve hemisfere, leva hemisfera je postala specijalizovana za analitičko i verbalno procesiranje, dok je desna postala specijalizovana za holističko, geštalt, sintetičko, perceptivno procesiranje.” (*Gazzaniga and E.LeDoux, 1978, str. 48*) Sledeći primeri pokazuju posledice poremećaja interhemisferne komunikacije.

Viki (*Vicki*), pacijentkinja kojoj je operativnim putem urađena korpus kalozotomija, podvrgnuta je ispitivanjima koja su za cilj imala utvrđivanje uticaja operacije na procesiranje hemisfera, kao i na ukupnu kognitivnu sposobnost mozga. U periodu posle operacije život pacijentkinje Viki osetno se izmenio. Osim pozitivne strane operacije, prestanak jakih napada, susretala sa krajnje neobičnim situacijama. Jednom prilikom, tokom uobičajene kupovine u supermarketu, stajala je ispred police sa proizvodima. Želela je da uzme proizvod i da ga stavi u kolica, međutim to nije mogla da učini. „Posegla bih desnom rukom za predmetom koji želim, ali leva bi došla i one bi imale neku vrstu borbe.” (*Wolman, 2012, str. 260*). Slično se događalo prilikom odabira odeće. Kada bi želela da obuče nešto i uzela to desnom rukom leva bi se umešala i ne bi joj dozvolila da to učini. Mozak se u navedenim slučajevima ponašao kao da unutar njega postoje dva duha.

Pacijent označen kao W. J. bio je podvrgnut identičnoj operativnoj proceduri. Nakon postoperativnog perioda za njega je pripremljen specijalno konstruisan eksperiment. Eksperiment je zasnovan na činjenici da leva hemisfera obrađuje informacije iz desnog dela vidnog polja a desna hemisfera iz levog dela. Na slici 2.23 možemo videti ilustraciju procesa ispitivanja koji se sastojao iz prikazivanja niza reči. Svaki put kada bi se pojavila neka reč od W. J. se zahtevalo da pritisne taster i da verbalno saopšti šta je video. Reči su se smenjivale tako da je jednom reč bila smeštena u levi deo vidnog polja a drugi put u desni deo. Kada se reč pojavljivala u desnom delu vidnog polja W. J. je pritiskao taster i davao tačan verbalni opis reči koju je video. Nasuprot

tome, svaki put kada bi se reč prikazala u levom delu vidnog polja pacijentova leva ruka bi pritiskala taster, ali bi W. J. odgovarao da nije video ništa. Leva ruka je signalizirala da je informacija prisutna, ali je W. J. nije bio svestan. Ne samo da je leva ruka signalizirala pojavljivanje objekta, već je ona mogla da ukaže i koji je to objekat bio. Kada bi se pacijentu dala olovka on bi njom nacrtao predmet koji se pojavio a koga nije bio svestan.



Slika 2.23 (Wolman, 2012, str. 262)

Navedeni eksperiment pokazuje da leva i desna hemisfera procesiraju svet na različite načine. U hemisferama se paralelno obrađuju informacije ali u slučaju razdvojenih hemisfera one ne razmenjuju rezultate tih procesiranja. Presecanjem korpua kalozuma desnoj hemisferi je onemogućeno verbalno izražavanje. Način da saznamo šta je ona videla je moguće jedino njenim motoričkim izražavanjem preko leve strane tela.

Osim što ukazuje na lateralnu strukturalnu i funkcionalnu podeljenost mozga, razdvajanje korpua kalozuma potvrđuje i dva bitna svojstva koje se tiču svesti. Prvo se tiče integrisanosti iskustva. Razdvajanje hemisfera direktno ukazuje na smanjenje i prekid integrativne sposobnosti mozga. Drugo svojstvo se odnosi na jedinstvenost svesnog iskustva. Iako hemisfere ne mogu međusobno da komuniciraju, subjektivno iskustvo osoba sa podeljenim mozgom je i dalje celovito. Svi pacijenti imaju kontinuirano subjektivno iskustvo i nemaju osećaj da im nešto nedostaje.

Gazaniga to objašnjava iznoseći svoju teoriju o interpretatoru. Prema njemu leva hemisfera mozga predstavlja interpretatora koji tumači i analizira pridošle informacije, kognitivne i emocionalne odgovore i integriše ih sa prethodnim iskustvom. Ona stvara red i smisao iz haotičnog niza informacija. „Ja tvrdim da je leva hemisfera mozga interpretator koji

izlazi sa teorijom, narativom i slikom o sebi, uzimajući informacije od različitih ulaza, iz ‘neuronskog radnog prostora’, i iz struktura znanja, i da ih lepi zajedno, na taj način stvarajući sopstvo, autobiografiju iz haosa ulaznih signala.” (*Gazzaniga, 2008, str. 302*). Interpretator proizvodi narativ mentalnih stanja i čini da sva ona budu deo jedne iste koherentne priče. Funkcija leve hemisfere mozga kao interpretatora je isključivo karakteristika ljudske vrste. Ona omogućava da se informacije integrišu na nov i jedinstven način što dovodi do pojave sopstva i svesti višeg reda.

2.3.8. Komunikacija putem koherencije – kako integracija doprinosi razmeni informacija?

Svako svesno iskustvo praćeno je mnoštvom besvesnih procesa koji se odvijaju paralelno unutar mozga. Jedan od zadataka koji se postavlja svakoj teoriji koja pokušava da odgonetne prirodu svesti jeste objašnjenje razlike u mehanizmima koji stoje iza svesnog i nesvesnog iskustva. Zašto neke aktivnosti neuronskih grupa dovode do svesti a druge ne. Ono što smo do sada saznali jeste da i tokom nesvesnih procesa postoji značajna razmena informacija unutar mozga. Postoji li nešto posebno u organizaciji i dinamici neuronskog sistema što prati svest?

Za objašnjenje razlike između moždanih mehanizama svesnog i nesvesnog iskustva možemo koristiti proces opažanja kamufliranog skakavca na slici 2.24.



Slika 2.24 (*McFadden, 2006, str. 156*)

Proces svesnog opažanja skakavca na slici 2.24. počinje primanjem informacije na mrežnjaču oka, koja se posle optičkim nervom i drugim vizuelnim putevima sprovodi do primarnog vizuelnog područja. U trenutku kada informacija stigne do vizuelnog korteksa, ona aktivira pražnjenja hiljada neurona. Svaki od njih ima specifičnu funkciju, neki detektuju oblik, drugi dubinu, treći boju, itd. Međutim, i pored njihove očigledne aktivnosti i kodirane informacije unutar sistema, mi i dalje ne opažamo skakavca. Posle nekoliko stotina milisekundi, ili nekoliko sekundi u slučaju da nismo znali šta treba da vidimo na slici, skakavac nam se pojavljuje kao deo svesnog iskustva. Šta se dogodilo unutar neuronskog sistema u međuvremenu? Do svesnog opažanja skakavca ne dolazi usled promene frekvencije pražnjenja ili amplitude neurona koji učestvuju u procesiranju, već usled sinhronizacije njihovih aktivnosti. Istraživači poput Dekoa (*Gustavo Deco*), Buelmana (*Andres Buehlmann*), Vomelsdorfa (*Thilo Womelsdorf*) sugerišu na ulogu sinhronizacije moždanih ritmova u različitim kognitivnim funkcijama. Jedna od osnovnih pretpostavki je da sinhronizacija utiče na kvalitet procesiranja i transfera informacija među neuronskim grupama.

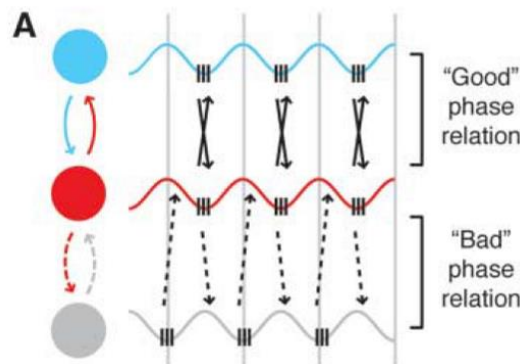
Prema teoriji *KPK* (Komunikacija putem koherencije - *Communication through coherence*) proces sinhronizacije utiče na povećanje delotvorne povezanosti u neuronskoj mreži. (*Fries, 2005*) (*Fries, 2015*) Delotvornu povezanost moguće je meriti preko transfera entropije *TE*, koji omogućava da se kvantifikuje razmena informacija između neuronskih grupa. (*Vicente, Wibral, Lindner and Pipa, 2011*) Uzmimo dve grupe neurona i označimo jednu grupu sa *A* a drugu sa *B*. Grupa *A* će imati kauzalan uticaj na grupu *B*, ukoliko nam znanje o prošlim aktivnostima grupe *A* pomaže u predviđanju aktivnosti grupe *B*, tako da zahvaljujući prošlim aktivnostima grupe *A* možemo da predvidimo više od onoga što bismo mogli da predvidimo samo na osnovu prošlih aktivnosti grupe *B*. Stoga transfer entropije od *A* do *B* možemo posmatrati kao količinu smanjenja neizvesnosti budućih vrednosti *B* na osnovu prošlih vrednosti *A*. (*Wibral, Vicente and Lizier, 2014*)

Transfer entropije podseća na pojam zajedničke informacije ali poseduje jednu bitnu razliku. Zajednička informacija, o kojoj je ranije bilo reči, nam govori koliku količinu informacije možemo da dobijemo o jednoj promenljivoj na osnovu posmatranja druge promenljive, ali ne i njihov kauzalni odnos. Zajednička informacija je simetrična mera i ne govori nam ništa o smeru informacije. Za razliku od nje *TE* je asimetrična mera koja nam govori i o količini i o smeru razmenjene informacije. (*Wibral, Vicente and Lizier, 2014*) To znači da

možemo da utvrdimo koji elementi sistema šalju a koji primaju informaciju. Ako vršimo merenje putem *EEG-a*, transfer entropije će prikazivati uticaj jednog skupa neurona detektovanih elektrodom *A*, na skup neurona detektovanih elektrodom *B*.

Uloga sinhronizacije u transferu informacija je u tome što sinhronizacija olakšava transfer informacija. Kada se govori o sinhronizaciji neuronskih grupa misli se na usklađenost njihovih faza. Jačina međusobnog uticaja između dve grupe neurona zavisiće od usklađenosti njihovih ritmičnih aktivnosti, odnosno od usklađenosti vremenskih okvira u kojima mogu da utiču jedna na drugu. (na primer, ukoliko se jedna grupa neurona prazni dok se druga nalazi u refraktornom periodu, prva grupa neće moći da utiče na drugu te će bilo kakva delotvorna komunikacija biti onemogućena.) (*Womelsdorf, 2007*)

Na slici 2.25 možemo videti tri grupe neurona, plavu, crvenu i sivu. Kod plave i crvene grupe su vremenski okviri za razmenu informacije usaglašeni. Nasuprot njima vremenski okvir sive grupe nije usaglašen, pa navedena grupa neurona ima umanjenu mogućnost za razmenu informacija sa njima. Odnos između faza utiče na delotvornu povezanost i ona može biti minimizovana (u slučaju lošeg odnosa faza) ili maksimizovana (u slučaju dobrog odnosa faza). Kada je slabija sinhronizacija, veća je verovatnoća da će dolazeći sinaptički signali biti u nasumičnoj fazi u odnosu na grupu neurona koja ih prima, te će delotvorna povezanost između njih biti slabija.

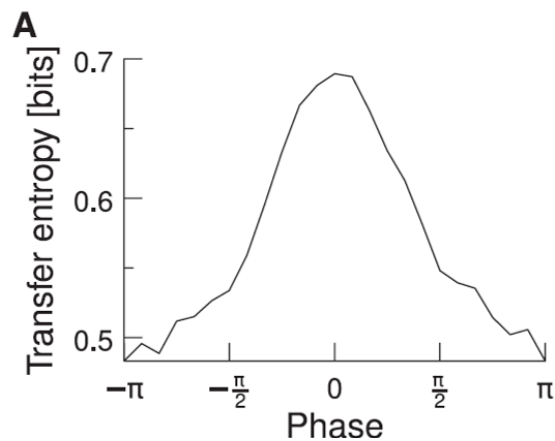


Slika 2.25 (*Womelsdorf, Fries, et al., 2007, str. 1610*)

Womelsdorf (*Womelsdorf*) sa svojim timom (*Womelsdorf, Schoffelen, Oostenveld, Singer, Desimone, Engel and Fries, 2007*) pokazuje da korelaciju između dve grupe neurona možemo posmatrati preko funkcije promene faze u gama frekvencijskom opsegu (oko 60Hz). Oscilacije unutar gama frekvencijskog opsega i odnos faza u njemu utiču na jačinu i delotvornost

neuronskih veza. Što je manja fazna razlika to je veći transfer entropije. „...postoji optimalni fazni odnos gde je TE maksimalan.” (Buehlmann and Deco, 2010)

Na slici 2.26 možemo videti rezultate testiranja koje su sproveli (Buehlmann and Deco, 2010) na kojima se vidi odnos fazne razlike i TE . Kriva na grafikonu predstavlja prosek izveden iz 100 testiranja. Oblik krive ukazuje na normalnu distribuciju i zavisnost vrednosti TE od fazne razlike. Iako su istraživanja uglavnom usmerena na γ frekvencijski opseg, postoje jasni pokazatelji da je komunikacija putem koherencije (CTC) univerzalni mehanizam koji nije ograničen segmentom frekvencijskog opsega. I unutar β opsega, na frekvenciji od oko 20 Hz, TE će imati najveću vrednost za faznu razliku vrednosti 0. Na KPK (CTC) se može gledati kao na generalni mehanizam koji oblikuje konekcije unutar neuronskog sistema. Što je veće poklapanje faza među neuronskim grupama, veći je i transfer entropije, što znači da postoji veći kauzalni uticaj između navedenih neuronskih grupa.



Slika 2.26 (Buehlmann and Deco, 2010, str. 7)

Navedena istraživanja idu u korist hipotezi koju zastupa CTC . Fazno zaključavanje između dva skupa neurona utiče na povećanje razmene informacija. Fazno zaključavanje kortikalnih oscilacija omogućava da se nekoliko različitih osobina predmeta, procesiranih u funkcionalno različitim delovima, integriše u jednu koherentnu celinu.

2.3.9. Zaključak

Pojmovi integracije i informacije u najtešnjoj su vezi sa strukturom i sadržajem svesnog iskustva. Mnogobrojni eksperimenti i simulacije su pokazali da je jedinstvenost svesnog iskustva omogućena integrativnim kapacitetom sistema, a da je bogatstvo sadržaja iskustva u korelaciji sa

količinom njegovih diskriminatorskih kapacita. Oba pojma su kauzalnog karaktera, gde se na informaciju gleda kao na smanjenje neizvesnosti unutar sistema (koliko nam jedan događaj unutar sistema govori o drugom događaju), a na integraciju kao na povećanje kauzalnog delovanja određenih elemenata ili podskupova sistema na druge elemente ili podskupove (to ukazuje na smanjenje nezavisnosti jednog skupa elemenata od drugog).

Kroz primere iz kliničke prakse smo videli da svest ne zavisi od pojedinačnih delova mozga ili broja neurona u njemu, već da je ona globalan moždani fenomen. Ona je svojstvo koje proizilazi iz kompleksnosti neuronskog sistema koja omogućava mozgu da funkcioniše istovremeno kao jedinstveni sistem, ali i da može da bude u velikom broju stanja, da integriše velike količine informacija. Integracija kauzalnog delovanja rasprostranjenih neuronskih grupa se vrši mehanizmom sinhronizacije putem neuronskih oscilacija.

Sinhronizacija podrazumeva vremensku usklađenost, no to ne znači da sinhronizovani neuroni moraju biti aktivirani i inhibirani istovremeno (bez ikakvog kašnjenja). Od suštinske važnosti da postoji fiksirana fazna razlika između njih (da su fazno zaključani). Kada su aktivnosti dve grupe neurona fazno zaključane, a faze se nalaze u dobrom odnosu (mala fazna razlika, najbolje 0°), njihova komunikacija će biti optimizovana. Optimizacija podrazumeva maksimizaciju transfera informacija. Fazno zaključavanje oscilacija olakšava komunikaciju (komunikacija putem koherencije) između neuronskih grupa, optimizuje prenos informacija i utiče na povećanje globalne integriteta.

Za merenje kauzalnog uticaja među neuronskim grupama (količinu razmenjene informacije) moguće je koristiti različite statističke mere poput zajedničke informacije (*ZI*) ili transfera entropije (*TE*). Pojedini istraživači poput (*Lowet, Roberts, Bonizzi, Karel, Weerd, 2016*) koriste druge statističke metode, što je u njihovom slučaju „vrednost faznog zaključavanja” (*phase-locking value - PLV*). Bez obzira koji se statistički model koristi za sve njih je zajedničko to što na svoj način pokušavaju da odrede uticaj sinhronizacije na količinu delotvorne povezanosti unutar sistema.

Kao što smo videli sinhronizacija je samo jedan od uslova za uspostavljanje komunikacije unutar sistema. Sinhronizacija doprinosi nastanku svesti kada se kompleksan sistem nalazi u stanju balansa između sila integracije i segregacije, u širem smislu između stanja reda i haosa. Dakle, za delotvornu povezanost unutar neuronskog sistema je najplodonosnija nekompletna sinhronizacija koja je moguća samo unutar kompleksnih sistema. (*Tognoli and Kelso, 2014*)

3.

Dinamički modeli svesti

3.1. Hipoteza dinamičkog jezgra

Prethodno smo mogli da vidimo da je mozak kompleksan biološki sistem čija arhitektura i funkcionalna povezanost omogućavaju razmenu i integraciju ogromne količine informacija. Hipoteza dinamičkog jezgra, koju je predložio Edelman (*Gerald Edelman*), sposobnost neuronskog sistema da integriše informacije dovodi direktno u vezu sa svesnim iskustvom.

Edelman pretpostavlja da je svako pojedinačno svesno iskustvo prouzrokovano aktivnošću određenog skupa neurona. „...šta je, ako je uopšte nešto, posebno kod ovih grupa neurona koje održavaju svesno iskustvo i kako one treba da budu identifikovane?“ (*Edelman and Tononi, 2000, str. 143*) Da bi objasnio kako stanja neuronskog sistema odgovaraju fenomenalnim stanjima Edelman polazi od sličnosti između subjektivnog iskustva i obrazaca neuronskih aktivnosti. Osobine integrativnosti i informativnosti podjednako su prisutne kako kod svesnih stanja, tako i u neuronskim procesima koji se nalaze u osnovi tih stanja. „Verujemo da ovo poklapanje između neurobiologije i fenomenologije nije čista slučajnost.“ (*Edelman and Tononi, 2000, str. 111*)

Edelman postavlja hipotezu dinamičkog jezgra za koju smatra da je odgovor na navedena pitanja. Ova hipoteza pretpostavlja da je, i pored toga što u mozgu postoje milijarde neurona, za svako pojedinačno svesno iskustvo odgovorna aktivnost samo jednog određenog broja neurona. Treba imati na umu da je dinamičko jezgro proces, a ne stvar, u kome učestvuju neuronske grupe. Dinamičko jezgro ne može biti formirano običnim jednosmernim procesom već isključivo uz pomoć rientri¹⁹ rekurzivnih procesa. Bez rientri procesa nema ni dinamičkog jezgra. Nešto

¹⁹ Rientri (*Reentry*) je dinamički proces koji omogućava sinhronizaciju aktivnosti između različitih moždanih područja. Time je omogućena koordinacija unutar mozga, što dovodi do integracije i jedinstvenog odgovora organizma na stimulse iz okruženja. Rientri je neprekidna razmena signala između različitih delova mozga. Ona predstavlja globalno, istovremeno, paralelno procesiranje. Putevi kojima idu rientri signali se neprestano menjaju, kreirajući na taj način dinamičku sredinu. Konačan rezultat rientri procesa je sinhronizovano i koordinisano pražnjenje neuronskih kola u različitim moždanim područjima.

kasnije ćemo videti da čiste jednosmerne (*feedforward*) mreže nemaju mogućnost integracije informacije, već da su za integraciju potrebne i povratne (*feedback*) mreže.

1. „Grupa neurona može da direktno da doprinese svesnom iskustvu samo ako je deo distribuiranog funkcionalnog klastera, koji preko rientrant interakcija u talamokortikalnom sistemu ostvaruje visoku integraciju u stotinama milisekundi.
2. Da bi se održalo svesno iskustvo, od suštinske je važnosti da ovaj funkcionalni klaster bude visoko diferenciran, na šta ukazuju visoke vrednosti kompleksnosti.“ (*Edelman and Tononi, 2000*)

Diferencijacija i integracija su fundamentalne osobine dinamičkog jezgra koje omogućavaju pojavu svesti. Rientrant procesi omogućavaju da se funkcionalno i anatomski odvojena talamička jezgra sa jedne, i kortikalni regioni sa druge strane, integrišu, i povežu rezultate svojih aktivnosti u jednu jedinstvenu celinu, u dinamičko jezgro. Funkcionalni klaster proizvodi svesno iskustvo samo u slučajevima kada on ima veliku vrednost kompleksnosti. „Ova hipoteza tvrdi da aktivnost neuronskih grupa može da doprinese direktno svesnom iskustvu ukoliko je deo funkcionalnog klastera, koji karakterišu jake međusobne interakcije između neuronskih grupa u toku perioda od nekoliko stotina milisekundi. Da bi se održalo svesno iskustvo neophodno je da ovaj funkcionalni klaster bude veoma diferenciran, što je ukazano visokim vrednostima kompleksnosti. Takav klaster, koji mi zovemo ‘dinamičko jezgro’ zbog njegove neprekidno promenjive kompozicije ali i stalne integracije, je proizveden većinom, mada ne isključivo, unutar talamokortikalnog sistema.” (*Edelman and Tononi, 2000, str. 139*)

Aktivnost funkcionalnog klastera se subjektivno opaža kao tok svesti. Pošto se tok svesti neprekidno menja, tako se neprekidno menjaju i elementi funkcionalnog klastera. Neuronske grupe koje čine dinamičko jezgro rasprostranjene su širom mozga, ali se najveći deo njih nalazi u talamokortikalnom sistemu. Talamokortikalni sistem poseduje veliku dinamičnost, gde se u toku od nekoliko milisekundi ili desetina milisekundi uključuju nove i isključuju postojeće grupe neurona u funkcionalnom klasteru. Aktivnost dinamičkog jezgra koja dovodi do svesnog stanja može uticati na određene nesvesne procese, koji se odvijaju paralelno sa njim. Isto tako drugi nesvesni procesi mogu učestvovati u usmeravanju i oblikovanju dinamičkog jezgra a da pri tom nisu njegov deo.

Najveći deo komunikacije talamokortikalni sistem obavlja unutar sebe, dok je daleko manja razmena signala sa drugim subkortikalnim područjima. Međutim, dinamičko jezgro ne bi

trebalo poistovetiti sa talamokortikalnim sistemom. Dinamičko jezgro, kako mu i samo ime sugerira, predstavlja neprekidnu aktivnost neuronskih grupa. U jednom trenutku će pojedine grupe neurona ispasti iz klastera, dok će druge klaster uključiti u sebe. Isto tako jedna grupa neurona može učestvovati u različitim svesnim iskustvima.

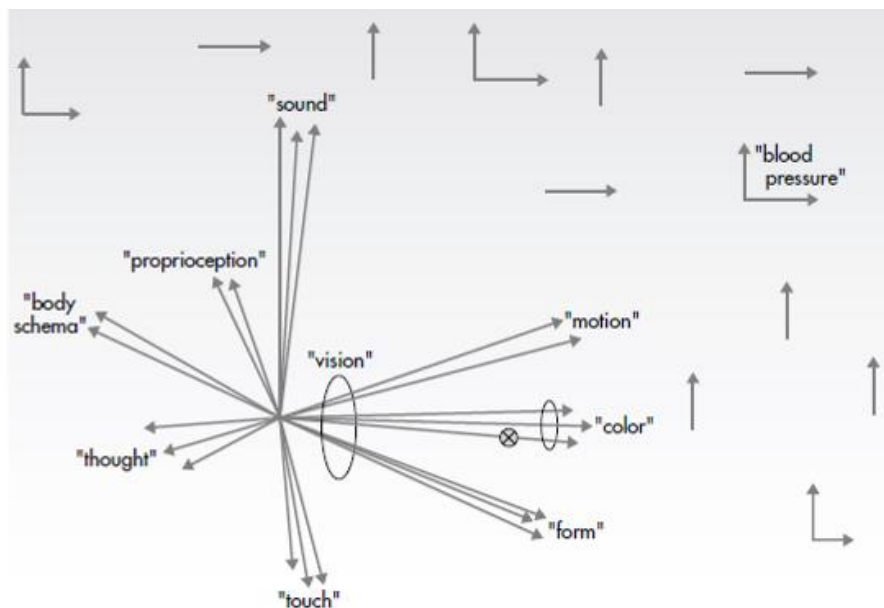
Različiti obrasci neuronske aktivnosti koje čine dinamičko jezgro mogu biti korelati jedne iste mentalne reprezentacije. (*Edelman, 2004*) Istraživanja binokularnog rivaliteta ukazuju na postojanje različitih obrazaca neuronskih aktivnosti i u slučajevima kada se ponavljaju isti vizuelni stimulusi. Koliko god puta ponovili određeni stimulus neće se dogoditi ponavljanje identičnog obrasca neuronske aktivnosti. Postojeće velika sličnost između tih obrazaca, gde će pojedina područja biti aktivnija od drugih. Ali dinamičko jezgro neće činiti uvek iste grupe neurona. (*Edelman and Tononi, 2000*). Za jednu mentalnu reprezentaciju ne postoji tačno jedan obrazac neuronskih aktivnosti. Edelman zastupa tezu prema kojoj je degenerativnost jedna od ključnih karakteristika neuronskog sistema.²⁰

Svako pojedinačno stanje jezgra predstavlja jednu diskriminaciju, fenomenološki ispoljenu kao kvaliju. Kvalije predstavljaju subjektivna iskustva koja mogu da obuhvataju širok spektar stanja, poput bola, senzacija, misli, čak i nekih koja obuhvataju duži vremenski interval kao što su raspoloženja. Dakle kvalije su interna stanja nedostupna objektivnom posmatranju. Ono što možemo posmatrati jesu neuronski korelati kvalija. Koliko god da postoji mogućih subjektivnih iskustava toliko postoji i kvalija. Praktično možemo govoriti o gotovo beskonačnom broju kvalija.

Prema Edelmanu i Tononiju, kvalije nisu ništa drugo do stanja dinamičkog jezgra. Dinamičko jezgro je funkcionalan klaster visoke kompleksnosti koji u sebi sadrži veliki broj neuronskih grupa. Kvalije su proizvod „aktivnosti celog dinamičkog jezgra.” (*Edelman and Tononi, 2000*) Kapacitet dinamičkog jezgra, odnosno spektar njegovih mogućih stanja, određuje i okvire mogućeg subjektivnog iskustva. Za opis stanja (relacije među elementima) dinamičkog

²⁰ Pod degenerativnošću se podrazumeva osobina da različite strukture vode do istog rezultata ili posledice. Dobar primer za degenerativnost u biološkim sistemima možemo naći kod genetskog koda. Degenerativnost se ogleda u tome što 64 kombinacije baza (kodona) formira ukupno 20 aminokiselina. Tako se na primer kodoni *GAA* i *GAG* razlikuju u bazi na trećoj poziciji, a i jedan i drugi određuju glutaminsku kiselinu. Edelman smatra da je degenerativnost princip po kome takođe funkcioniše i nervni sistem. Različita neuronska kola unutar mozga ispoljavaju degenerativnost, što znači da obavljaju identične kognitivne funkcije. Degenerativnost omogućava da iste rezultate postižu strukturalno različita neuronska kola.

jezgra Edelman i Tononi koriste model apstraktnog matematičkog prostora. (Slika 3.1) Takav neuronski prostor se može sastojati od gotovo neograničenog broja dimenzija. Svaka dimenzija prostora predstavlja delovanje pojedine grupe neurona. Kvalije su posledica integracije različitih grupa neurona, te su formirane od većeg broja dimenzija. „Kvalije su stoga visokodimenzione diskriminacije.” (Edelman and Tononi, 2000, str. 157)



Slika 3.1 (Edelman and Tononi, 2000, str. 164)

Na slici 3.1 prikazana je pojednostavljena šema dinamičkog jezgra koja može biti N dimenzionalni neuronski prostor. Svaka od dimenzija predstavlja jednu neuronsku grupu koja učestvuje u dinamičkom jezgru. Radi boljeg razumevanja u ilustraciji se koristi manji broj dimenzija. U stvarnoj situaciji kvaliju bi formirao daleko veći broj dimenzija. Pošto je u pitanju promenjivi funkcionalni klaster, tokom vremena dolazi do promene grupa neurona, dimenzija, koje učestvuju u njemu. Ta promena se direktno opaža kao tok svesti.

Onoliko koliko postoji specijalizovanih grupa neurona koje predstavljaju zasebne mikro sisteme, a do sada ih je otkriven ogroman broj, toliko postoji i mogućih dimenzija. Svaki prikaz kvalija prostora se odnosi na kratak vremenski interval, koji se meri desetinama milisekundi, u kome su integrisane sve trenutne neuronske grupe dinamičkog jezgra. Trenutni kvalija prostor, koji se još može nazvati i referentni prostor, nije moguće rastaviti na potprostore koji bi sadržavali pojedine segmente dinamičkog jezgra. Zapravo moguće ga je rastaviti, ali je posledica toga gubitak integracije i razbijanje funkcionalnog klastera. Funkcionalni klaster nije moguće

razbiti na manje delove jer je po definiciji on nosilac svesnog iskustva i trenutni skup elemenata najveće kompleksnosti. Ukoliko bi se on pak rastavio na potprostore, subjektivno iskustvo koje je bilo predstavljeno celokupnim referentnim prostorom bilo bi izgubljeno.

Veličina funkcionalnog klastera, odnosno broj dimenzija koje učestvuju u njemu varira. Što je više dimenzija, to je veća njegova potencijalna kompleksnost i sposobnost diskriminacije. Namerno upotrebljavam reč potencijalna, jer veći broj neuronskih grupa automatski ne garantuje i veću kompleksnost. Ukoliko postoji ogromna integrisanost sistema, na uštrb diferencijacije, repertoar neuronskih stanja će biti minimalan, odnosno kompleksnost će biti mala. U osnovi je sinhronizovana aktivnost neuronskih grupa poželjna, kako bi došlo do integracije. Međutim, prevelika integracija može biti kontraproduktivna i može dovesti do stapanja različitih dimenzija i sužavanja neuronskog prostora. Sposobnost diskriminacije, prema teoriji koju zastupa Edelman, zahteva ogroman broj dimenzija. Samo u odnosu na ona potencijalna stanja koja nisu aktualizovana, konkretno aktualizovano stanje može imati realnost.

Šta to u konkretnom slučaju znači? Subjektivno iskustvo plave boje povlači sa sobom veću aktivaciju neuronskih grupa koja poseduju osetljivost na frekvencijski opseg plave boje i slabiju aktivaciju neuronskih grupa koje su osetljiva na crveni i zeleni spektar, kao i aktivaciju određenih grupa neurona osetljivih na crni i beli spekar, odnosno na količinu svetla. Ali ne samo to. Da bi kvalija plave boje bila moguća, potrebno je uključiti mnogo veći broj delova vizuelnog korteksa čija direktna funkcija ne podrazumeva detekciju boja. Grupe neurona zadužene za detekciju oblika, pokreta, dubine biće takođe potrebne kako bi se moglo izvršiti bilo kakvo prepoznavanje boje. Osim toga, deo neuronskog prostora moraju činiti i grupe koji ne pripadaju vizuelnom korteksu, poput auditivnih, motoričkih, kinestetičkih, proprioceptivnih. „I tako dalje, sve dok ne postoji neuronski referentni prostor koji je dovoljno bogat da dozvoli diskriminacije svesnih stanja koje odgovaraju čistoj percepciji date boje, među milijardama drugih svesnih stanja.” (*Edelman and Tononi, 2000, str. 167*)

Kao što je već pomenuto, takav prostor će biti referentni prostor svesnog iskustva samo ukoliko on čini dinamičko jezgro. Prostori van dinamičkog jezgra, poput prostora koji predstavlja krvni pritisak, ne ulaze u svesno iskustvo ali postoje paralelno sa dinamičkim jezgrom i vrše lokalne promene sa ograničenom sposobnošću diskriminacije.

Dinamičko jezgro prolazi kroz konstantnu promenu koja sa sobom nosi sukcesivnu smenu kvalija. Iako se nalazi u stanju konstantne promene, dinamičko jezgro održava jedinstvo iskustva.

Jedinstvo se održava tako što ne postoji radikalna promena u kojoj bi se sve grupe neurona koje formiraju funkcionalni klaster promenile i na njihovo mesto došle neke druge. Promene u iskustvu se dešavaju izmenama koje obuhvataju proširivanje ili smanjivanje grupa neurona koje formiraju dinamičko jezgro, kao i isključivanjem jednih i uključivanjem nekih drugih grupa.

Trenutno stanje dinamičkog jezgra možemo prikazati kao jedinstvenu relaciju među tačkama na osama unutar višedimenzionalnog prostora. Ukoliko želimo da prikazemo tok svesnog iskustva, kroz neki duži vremenski interval, onda ćemo kontinuirana svesna stanja prikazati kao trajektoriju u neuronskom prostoru sa N dimenzija.

Ovakav pogled na neuronsku osnovu svesnog iskustva nosi sa sobom sledeće konsekvence. Budući da svako stanje dinamičkog jezgra predstavlja jedno svesno iskustvo, koje se, kako smo videli, ne može svesti na atomske dimenzije poput grupa neurona osetljivih na plavu boju, već u osnovi tog iskustva stoji ogroman broj drugih dimenzija i stoga ne možemo govoriti o subjektivnom doživljaju čisto plave boje, ili čistog bola itd. Ne postoji nešto što bismo bi bilo lišeno šireg konteksta i predstavljalo *atomsko* subjektivno iskustvo. (*Edelman and Tononi, 2000*)

Različita iskustva biće bliža ili dalja u zavisnosti od razdaljine tačaka na dimenzijama koje formiraju neuronski prostor. Što su razdaljine između tačaka dimenzija neuronskog prostora bliže, to će biti bliža svesna iskustva. Tako će iskustvo slušanja *Yesterday* od *Beatles-a* biti bliže iskustvu slušanja cvrkuta ptica nego iskustvu posmatranja plavog neba.

Potrebno je detaljnije pojasniti mehanizam na osnovu koga dolazi do selekcije i smene svesnih iskustava. Da bi neki stimulus bio svestan potrebno je da učestvuje u dinamičkom jezgru. U zavisnosti od trenutne važnosti za organizam neke dimenzije će imati veći uticaj na dinamičko jezgro od ostalih. Do smene među kvalijama dolazi kada neuronske grupe, čija je aktivnost presudna za određenu kvaliju, izvrše uticaj na ceo funkcionalni klaster. Tako na primer, ako miran popodnevni dan naruši zvuk komšijine bušilice, najveća promena u neuronskom prostoru će doći iz auditivnog korteksa i neurona koji su aktivirani u frekvencijskom opsegu bušilice. Aktivacija neurona u auditivnom korteksu mora ostvariti globalni kauzalni uticaj da bi bila deo svesti. U slučaju da njihova aktivacija ostvari samo lokalni uticaj ne bi došlo do promene u dinamičkom jezgru i sve bi ostalo na nesvesnom nivou.

Budući da ceo funkcionalni klaster obuhvata veliki broj dimenzija a da do promene kvalija dolazi u vremenskim okvirima od nekoliko desetina do stotina milisekundi, postavlja se

pitanje o prirodi interakcija između neuronskih grupa koje čine taj klaster. Takva gotovo momentalna interakcija unutar klastera je omogućena zahvaljujući riantant konekcijama. Funkcionisanje elemenata funkcionalnog klastera se odvija paralelnim putevima, gde grupe neurona međusobno razmenjuju informacije u oba smera i na taj način kreiraju jake riantant petlje. Takva arhitektura i organizacija omogućava komunikaciju među elementima na nivou od nekoliko desetina milisekundi. To je osnovni razlog zbog koga mali segment funkcionalnog klastera može da izvrši uticaj kroz ceo sistem.

Dakle, svest nastaje zahvaljući riantant procesima koji omogućavaju formiranje ogromnog neuronskog prostora sa velikim brojem dimenzija. Što je veći broj dimenzija, to je veća kompleksnosti i mogućnost diskriminacije. Upravo je razlika u kompleksnosti i veličini neuronskog prostora suštinska razlika između svesnih i nesvenih stanja, kao i između primarne i svesti višeg reda²¹.

3.2. Teorija integrisane informacije

Početak dvehiljaditih Đulio Tononi (*Giulio Tononi*) je formulisao tezu prema kojoj se svest definiše kao količina integrisane informacije, izražena preko vrednosti Φ (*Phi*). „ Φ je količina kauzalno delotvorne informacije koja se može integrisati preko informaciono najslabije veze unutar podskupa elemenata.“ (*Tononi, 2004*) Ova teza u dobroj meri proizilazi iz dugogodišnje saradnje sa Džeraldodom Edelmanom, prema kojoj je preduslov za svest sposobnost sistema da integriše informacije. Tononi je u objašnjavanju svesti otišao korak dalje od objašnjavanja svesti u neuronskom sistemu i u određenom smislu teorija integrisane informacije je redefinisala tradicionalni pogled na sam pojam svesti. Tokom godina Tononi je sa saradnicima usavršavao teoriju integrisane informacije. Prvo je (*2004*) formulisao *THI 1.0*, da bi je unapredio (*2008*) u *THI 2.0*, a poslednja revidirana verzija *THI 3.0* se pojavila (*2014*). Najveći razlog za

²¹ Edelman razlikuje dve vrste svesti, primarnu, koju pripisuje životinjama, i svest višeg reda koju pripisuje ljudima. Osnovna razlika između ljudske svesti i životinjske svesti je tome što ljudi poseduju svest višeg reda, što mogu da imaju sopstvo, da planiraju budućnost i razmišljaju o prošlosti. Nasuprot ljudima, životinje imaju primarnu svest, ne mogu da razmišljaju o prošlosti i planiraju budućnost u smislu u kome to mogu ljudi. Svest kod životinja Edelman definiše kao „sadašnjost koje se sećamo“. (*Edelman, 2006*)

promenu teorije jeste unapređenje računskih operacija vezanih za računanje integrisane informacije.

Poslednjih godina teorija integrisane informacije privukla je pažnju u neuronaučnim okvirima i pridobila neke važne zastupnike. Najveće ime je svakako Kristof Koh (*Christof Koch*), koji je svoju reputaciju u neuronaučnim krugovima izgradio saradnjom sa Francisom Krikom (*Francis Crick*), sa kojim je zajedno predvodio izučavanje neuronskih korelata svesti. Poslednjih godina Koh se okrenuo teoriji integrisane informacije i postao jedan od njenih najvećih pristalica. Tononi i Koh smatraju da neurobiološko istraživanje svesti na uobičajen način, ne vodi rešenju epistemološki teškog problema. Da li je svesno iskustvo proizvod oscilacija, rientri procesa ili nekog drugog mehanizma, ili se može ograničiti na klastrum, ili neko drugo područje mozga, može da bude tehnološki ili naučno težak problem. Ali čak i nakon utvrđivanja uloge mehanizama i funkcije pojedinih delova mozga u svesnom iskustvu, i dalje ostaje epistemološki težak problem.

III u sebi sadrži ontološku pretpostavku koja povezuje subjektivno iskustvo sa informacijom. „Subjektivno iskustvo je jedna te ista stvar kao i kapacitet sistema da integriše informacije.“ (*Tononi, 2004*) Ovakav materijalizam pretpostavlja da svaki fizički sistem ima svesno iskustvo u onoj meri u kojoj ima sposobnost da integriše informacije. Prema *III* ne postoji trenutak u kome iz integrisane informacije nastaje svest kao novi kvalitet. Svest je u sistemu prisutna u onoj meri u kojoj je prisutna trenutna količina integrisane informacije. Svest se posmatra kao stepenovani kvantitet. Tononi integrisanu informaciju vidi kao fundamentalni kvantitet, isto kao što su to masa i energija. (*Tononi, 2008*)

Teorija integrisane informacije sebi postavlja osnovni zadatak, da utvrdi koji tip fizičkog sistema i pod kojim uslovima proizvodi svest. U njenoj osnovi se nalazi pretpostavka da je svest moguće kvantifikovati, stepenovati i da ne postoji jasan prelaz iz nesvesnog u svesno stanje. „Teorija smatra da je svest fundamentalno svojstvo koje poseduju fizički sistemi sa specifičnim kauzalnim svojstvima.“ (*Tononi and Koch, 2015*) Tononi u eksplikaciji svoje teorije adresira dva ključna pitanja, za koje smatra da bi teorija o svesti trebalo da da odgovore. Prvo pitanje se tiče uslova pod kojima nastaje svest. Uslovi odgovaraju na pitanja zašto neki delovi mozga doprinose i učestvuju u svesnom iskustvu, a drugi delovi koji su podjednako bogati neuronima, čak ih u njima ima više (cerebelum), ne doprinose. Koji mehanizam čini da aktivnost mozga u jednom slučaju dovodi do svesti, poput stanja budnosti ili *REM* faze sna, a drugi ne dovodi do svesti,

poput epileptičnih napada ili dubokog sna. Drugo pitanje se tiče uslova pod kojima nastaju različite vrste svesnog iskustva. Kako nastaju i šta određuje fundamentalno nesvodiva iskustva?

Rešavanje ova dva pitanja bi trebalo da da adekvatan odgovor na pitanje karaktera i suštine svesti. „Rešavanje prvog problema znači da bismo znali do koje mere fizički sistem može da generiše svest – kvantitet ili nivo svesti. Rešavanje drugog problema znači da bismo znali koju vrstu svesti on generiše – kvalitet ili sadržaj svesti.“ (Tononi, 2004)

Kada govorimo o prvom problemu, teorija integrisane informacije svest vidi kao sposobnost sistema da integriše informacije. To nedvosmisleno implicira da će svest imati bilo koji sistem koji ima sposobnost da integriše informacije. U odnosu na to koliko je informacije integrisano, toliko će količinu svesti sistem i imati. Pa tako možemo zamisliti u budućnosti robote koji će biti svesni. „Sledi da bilo koji fizički sistem ima subjektivno iskustvo u meri u kojoj je sposoban da integriše informacije, bez obzira od čega je napravljen.“ (Tononi, 2004) Tononi ne samo da ne pokušava da izbegne ovakve implikacije, već ih u potpunosti prihvata.²²

Količina integrisane informacije zavisi od mogućnosti diskriminacije sistema. Ako svest pretpostavlja sposobnost diskriminacije, postavlja se pitanje zašto neki sistemi koji mogu da vrše diskriminacije nemaju svest? Osnovana razlika se ogleda u kvantitetu informacije koja je generisana prilikom vršenja diskriminacije. Tako na primer fotodioda može da odredi da li u njenom okruženju ima ili ne svetlosti. Ona može da nas obavesti, zvučnim ili nekim drugim signalom, da je došlo do nestanka svetla. Poput diode i čovek je sposoban da izvrši diskriminaciju i da nas obavesti da je nestalo svetlo. Zašto onda samo čoveku pripisujemo svest?²³

Krucijalna razlika između fotodiode i čoveka je što je fotodioda generisala 1 bit informacije, gde je od dva moguća ishoda diskriminisala jedan. Kada govorimo o čoveku, kvantitet generisane informacije je ogroman. Čovek ne isključuje samo jednu alternativu, svetlost, već i sve ostale. Neuronski sistem uspeva da diskriminiše među ogromnim brojem alternativnih stanja.

Da bi sistem posedovao svest potrebno je da, osim sposobnosti da vrši diskriminaciju, ima sposobnost i da integriše informacije. Moguće je zamisliti sistem koji ima milion elemenata, gde svaki element ima dva moguća alternativna stanja. Takav sistem bi mogao da proizvede veliki

²² Teorija integrisane informacije za posledicu ima prihvatanja višestruke realizabilnosti.

²³ Ovde se pre svega misli na pripisivanju u svakodnevnom govoru. Prema *TII* i fotodioda ima tačno 1 bit svesti.

broj diskriminacija. Međutim, ukoliko elementi ne bi bili međusobno povezani, količina generisane informacije bi bila takođe 1 bit. Takav sistem bi, spolja posmatrano, mogao da izgleda kao kompleksan, ali sa stanovišta samog sistema bi posedovao izuzetno malu kompleksnost. Suštinski bismo mogli taj sistem razdvojiti na milion delova, odnosno milion samostalnih sistema a da ne promenimo ništa. Svaki od elemenata bi diskriminisao između dva alternativna stanja. (Tononi, 2004)

Mozak se sastoji od velikog broja modula i podsegmenata, između kojih postoji velika međusobna komunikacija i integracija informacija. Kao što smo videli u slučaju prekida interhemisferne komunikacije, dve hemisfere funkcionišu kao zasebni sistemi. Kada nema ovakvog razdvajanja mozak funkcioniše kao celina u kojoj se ukupan repertoar stanja ne može podeliti na repertoare stanja zasebnih modula.

Međusobna kauzalna uslovljenost među neuronima i grupama neurona je osnov integracije informacije u neuronskom sistemu. Kauzalne interakcije među elementima čine da promene u jednom segmentu vrše uticaj na promene u drugim segmentima, pa na kraju i u celom sistemu. Integrisanost različitih segmenata daje subjektivno iskustvo jedinstvene celine. Nije moguće razložiti celinu na iskustvo posebnih segmenata scene poput boje, pokreta, oblika, a da pri tom sačuvamo svesno iskustvo. Kao što smo već pomenuli u teoriji dinamičkog jezgra, ne može biti iskustva boje koje ne sadrži oblik, dubinu itd.

Integracija i diskriminacije se odvijaju u određenim prostornovremenskim okvirima, koji idu od nekoliko stotina milisekundi do nekoliko sekundi. Naš subjektivni doživljaj se takođe odvija u prostornovremenskim okvirima. Svesno iskustvo je ireverzibilni proces koji ima svoju dinamiku. Ne možemo ga ubrzati niti usporiti. Ne možemo ni obrnuti redosled subjektivnog iskustva. Teorija koja pretenduje da na zadovoljavajući način objasni svest mora u sebi sadržati i navedena prostornovremenska ograničenja vezana za svesno iskustvo.

Najvažniji element *III* je definisanje jedinice mere kvantiteta svesnog iskustva. „Kako neko može da identifikuje jedan takav integrisani sistem i kako neko može da meri repertoar dostupnih stanja?“ (Tononi, 2004) Količina svesti u jednom sistemu definiše se preko faktora Φ . Tononi smatra da pravi put podrazumeva polazak od fenomenologije, jer samo nju sa najvećom izvesnošću znamo, a onda na osnovu njenih osobina treba postulirati mehanizme unutar fizičkog sveta. Jedina stvar koju možemo direktno da znamo jeste naše neposredno svesno iskustvo. Zato teorija integrisane informacije „Polazi od samog iskustva, identifikujući suštinska svojstva

(aksiome) i onda zaključuje koju vrstu svojstava fizički sistem mora da ima da bi objasnio suštinske osobine (postulate).“²⁴

Sve ostalo ma koliko god nam sigurno i neposredno delovalo jeste znanje na osnovu zaključivanja. „Zaista, dok god neko polazi od mozga i postavlja pitanje kako mozak može da doprinese iskustvu – u suštini pokušavajući da ‘destiluje’ duh iz materije, problem ne samo da bi mogao biti težak, već skoro nemoguć za rešavanje. Ali stvari mogu biti manje teške ako neko zauzme suprotni pristup: počne od same svesti, tako što identifikuje njena suštinska svojstva, i onda pita koja vrsta fizičkih mehanizama bi mogla da ih objasni.” (*Tononi and Koch, 2015*)

Dakle, *III* polazi od same svesti, fenomenološke analize, gde definiše njena osnovna svojstva pa tek na osnovu njih traži objašnjenja u vidu fizičkih svojstava. Prema *III* postoji pet suštinskih svojstava svesti koja ujedno predstavljaju i aksiome *III*. Nakon definisanja aksioma potrebno je tražiti fizička objašnjenja (postulate) za svaki od navedenih aksioma. Fizička objašnjenja bi trebalo da objasne zašto su suštinska svojstva svesti takva kakva jesu. Pet aksioma *III* su: intrinzično postojanje, kompozicija, informacija, integracija i ekskluzija.

3.2.1. Aksiomi *III*

Intrinzično postojanje:

Svest postoji. Samo neposredno iskustvo jeste intrinzično stvarno i aktualno, nezavisno od spoljašnjeg posmatrača. To je nešto što možemo potvrditi sa apsolutnom sigurnošću.

Kompozicija:

Svest poseduje strukturu i aspekte. Svako svesno iskustvo možemo predstaviti preko velikog broja različitih fenomenoloških distinkcija. Iskustvo breze se može sadržati od toga da joj je stablo belo, da je visoka, da se grane pomeraju na vetru, da je stablo u donjem a krošnja u gornjem delu, itd.

²⁴ http://www.scholarpedia.org/article/Integrated_information_theory

Informacija:

Svako svesno iskustvo je specifično po svojoj prirodi. Sastoji se od posebnog skupa specifičnih fenomenoloških distinkcija. Ono predstavlja diskriminaciju u odnosu na sva druga moguća iskustva. Iskustvo breze u dvorištu sa sobom nosi veliki broj specifičnosti koje su ujedno diskriminišuće. Pa tako sama lokacija da se breza nalazi u dvorištu je diskriminacija u odnosu na to da ona nije u dvorištu već na bilo kom drugom mestu, samo dvorište je diskriminacija da dvorišta nema, bela kora diskriminacija da nije bela, njihanje grana nasuprot ne-njihanju itd.

Integracija:

Svako iskustvo je jedinstvena scena koja se ne može redukovati na njene sastavne delove. Iskustvo koje imam kada gledam fotografiju staze koji vodi u argentinske planine ne mogu redukovati na iskustvo desnog dela fotografije plus iskustvo levog dela fotografije, ili na iskustvo pejzaža bez belih oblaka iznad planinskih vrhova, plus iskustvo belih oblaka. Dakle svesno iskustvo je po sebi celina čije delove možemo opaziti ali ih ne možemo izdvojiti van scene.

Ekskluzija:

Sušтина ekskluzije je da može postojati samo jedno svesno iskustvo. Uvek postoji samo jedno jedinstveno iskustvo, koje ne može biti superpozicija drugih iskustava. Svako pojedinačno iskustvo se sastoji od posebnog skupa fenomenoloških distinkcija (ne može da sadrži ni manje ni više distinkcija) i teče tačno određenom brzinom (ne može da teče ni brže ni sporije). Iskustvo koje imamo se ne može sastojati od iskustva koje je ograničeno u okvirima od nekoliko stotina *ms*, i drugog svesnog toka koji se odvija u vremenskom okviru od nekoliko milisekundi, ili nekog obuhvatnijeg toka svesti koji se odvija u okvirima od nekoliko sati ili dana. Takođe, ne može postojati iskustvo koje bi istovremeno sadržalo više distinkcija nego što ih imam, na primer iskustvo koje bi u sebi sadržalo i osećaj krvnog pritiska.

Iz navedenih pet aksioma proizilazi pet osnovnih pretpostavki koje Tononi naziva postulatima. Oni treba da daju odgovarajuće objašnjenje za svaki navedeni aksiom i odnose se na neuronske supstrate i mehanizme svesti. Svaki od pet aksioma ima svoj odgovarajući postulat. Cilj postulata jeste da se fenomenološki aksiomi prevedu u domen fizičkog sveta, gde bi se osobinama fizičkog sveta svi oni objasnili.

3.2.2. Postulati *III*

Intrinsično postojanje:

Da bi fizički sistem objasnio intrinzično postojanje iskustva, i on sam mora intrinzično da postoji. Nešto postoji u fizičkom svetu samo ako pravi neku razliku u njemu. To nešto mora da bude podložno delovanju fizičkog sveta ali i da ima mogućnost delovanja na druge elemente koji se u njemu nalaze. Objašnjenje intrinzičnog postojanja iskustva ne samo da podrazumeva da nešto postoji u fizičkom svetu, već da to nešto postoji i nezavisno od drugih delova tog sveta. Intrinzično postojanje u sistemu podrazumeva da sistem mora da postoji sam za sebe, nezavisno od posmatrača. To znači da sistem mora da ima uzročno-posledičnu moć u odnosu na samog sebe.

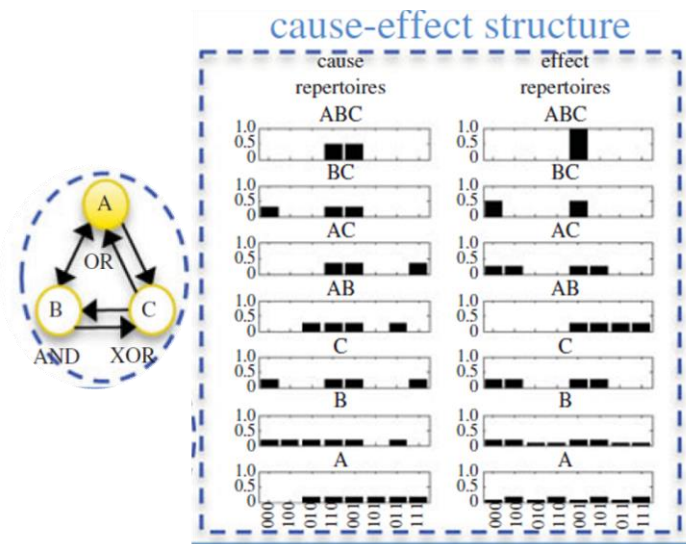
Da bi sistem postojao, trenutno stanje „mora praviti razliku u verovatnoći nekih prošlih i budućih stanja sistema.“ (*Tononi and Koch, 2015*) Sistem ima intrinzičnu egzistenciju kada trenutno stanje sistema nije proizvod potpune nasumičnosti sistema. U potpuno nasumičnom sistemu nema nikakvog prenosa informacija (intrinzičnog kauzalnog uticaja), jer je svako stanje sistema u potpunosti nezavisno od prethodnog. Kod sistema koji postoji intrinzično, trenutno stanje nam govori da su neka prošla stanja imala veću verovatnoću da ga izazovu, i isto tako nam govori da neka buduća stanja imaju veću verovatnoću da budu ostvarena iz trenutnog stanja (postoji redukcija neizvesnosti).

Kompozicija:

Aksiom kompozicije se direktno prevodi u postulat i kaže da sistem koji se sastoji od više elemenata mora da bude strukturiran, što znači da se osnovni mehanizmi unutar sistema mogu kombinovati u složenije. Ako se na primer sistem sastoji od elemenata *A*, *B* i *C*, onda svi mogući podskupovi njegovih elemenata *A*, *B*, *C*, *AB*, *AC*, *BC* i *ABC* mogu činiti mehanizam koji ima uzročno-posledičnu moć. Dakle, svi podskupovi unutar njega, počevši od pojedinačnih elementarnih mehanizama pa do celog sistema moraju da imaju uzročno-posledičnu moć unutar sistema. U slučaju da neki od podskupova nema uzročno-posledičnu moć, on ne bi postojao iz intrinzične perspektive sistema.

Informacija:

Svako neuronsko stanje predstavlja skup mehanizama²⁵ koji deluju unutar mozga. Da bi doprinosiso svesnom iskustvu, mehanizam u sistemu mora imati uzročno-posledičnu moć, „razliku koja pravi razliku“. (Oizumi, Albantakis and Tononi, 2014) Kolika je moć mehanizma određeno je njegovim uzročno-posledičnim repertoarom. Uzročno-posledični repertoar određuje verovatnoću svih stanja koja su mogla da uzrokuju trenutno stanje, i svih budućih stanja koje mogu biti posledica trenutnog stanja. Trenutno stanje proizvodi više informacija ukoliko ukazuje na veću verovatnoću nekih prošlih i budućih stanja sistema. Uzročno-posledični repertoar se može izračunati perturbacijama sistema na sve moguće načine i utvrđivanjem kako mehanizam u trenutnom stanju pravi razliku u verovatnoći prošlih i budućih stanja sistema.



Slika 3.2 (Tononi and Koch, 2015, str.7)

Kako bismo jednostavnije objasnili informaciju možemo koristiti sistem sa 3 elementa (*OR*, *AND* i *XOR* logičkih kola). (slika 3.2) Ukoliko element *C* (logičko kolo *XOR*) nije aktivan, trenutno stanje nam govori o verovatnoći prošlih stanja koja su mogla da dovedu do njega i o verovatnoći budućih stanja koja su posledica njegovog delovanja. Neaktivnost elementa *C* u trenutku t_0 nam govori da su u trenutku t_{-1} mogla da ga uzrokuju stanja elemenata *A* i *B* (isključeno, isključeno) ili (uključeno, uključeno), a ne (isključeno, uključeno) ili (uključeno, isključeno). Isto tako znamo da u sledećem vremenskom trenutku t_1 njegov posledični repertoar

²⁵ Mehanizam je bilo koji podskup elemenata (uključujući i ceo sistem kao podskup) koji može da ostvari uzročno-posledično delovanje na sam sistem.

određuje da će element *B* (AND kolo) biti isključen. Bilo koje stanje sistema će imati svoj specifični uzročno-posledični repertoar. Da je na primer element *C* u stanju aktivnosti, njegov uzročno-posledični repertoar bi bio potpuno drugačiji.

Svako stanje sistema je određeno jedinstvenom uzročno-posledičnom strukturom, koja ujedno pokazuje i ukupnu uzročno-posledičnu moć celog sistema. Uzročno-posledična struktura predstavlja skup uzročno-posledičnih repertoara svih podskupova sistem (uključujući i ceo skup kao podskup). Na slici 3.2 uzročno-posledična struktura je uokvirena plavom isprekidanom linijom i, kao što vidimo, ona je skup svih uzročno-posledičnih repertoara mehanizama koji određuju trenutno stanje sistema. Dakle, ukupna uzročno-posledična struktura sistema se može predstaviti kao prostor mogućnosti koga oblikuju trenutna stanja. Prema *THI*: „Informacija referiše na to kako sistem mehanizama u stanju, preko svoje uzročno-posledične moći, određuje oblik (‘informiše’ konceptualnu strukturu) u prostoru mogućnosti.“ (*Tononi and Koch, 2015*) Za proračun *THI* koristi specifičnu statističku definiciju informacije (*Earth Mover’s Distance*).²⁶

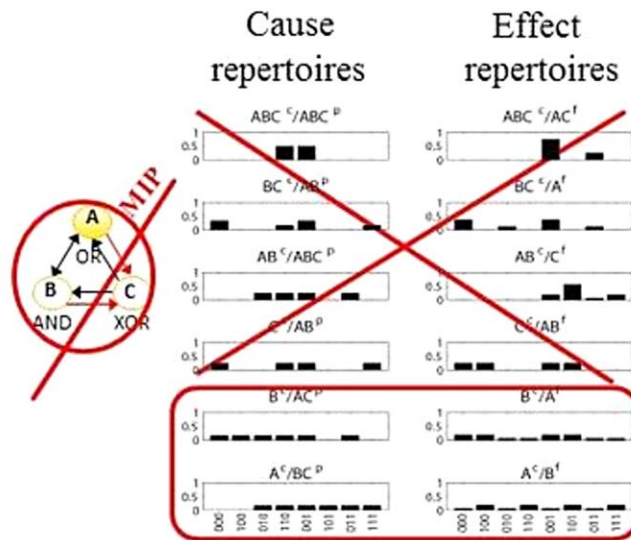
Integracija:

Samo integrisan sistem funkcioniše kao celina. Proveravanje integrisanosti sistema se vrši narušavanjem veza između svih podskupova sistema. Na taj možemo utvrditi kakva je uzročno-posledična povezanost unutar sistema. Ukoliko ne postoji promena u sistemu prilikom odvajanja određenog podsistema, to ukazuje da nije integrisan. Da li je sistem maksimalno nesvodiv, odnosno da li je maksimalno integrisan, proverava se odvajanjem podskupa sistema koji se označava kao minimalni informacioni deo. Minimalni informacioni deo (*MIP – Minimum informational partition*) je mehanizam (podsistem) koji pravi najmanje razlike u sistemu. Ako njegovo odvajanje od sistema dovede do smanjenja uzročno-posledičnih repertoara i promene u obliku konceptualne strukture tada znamo da je sistem integrisan.

Integrisanost pretpostavlja da je uzročno-posledična struktura određena trenutnim stanjem u sistemu jedinstvena i u potpunosti nesvodiva na podsisteme koji ga čine. „Biti intrinzično

²⁶ Pošto integrisana informacija predstavlja kapacitet trenutnog stanja sistema da odredi prošla i buduća stanja sistema, u računanju količine integrisane informacije koriste se dve distribucije. Distribucija stanja koje su mogle da dovedu do trenutnog stanja sistema (S_p) i distribucija budućih stanja (S_f) do kojih trenutno stanje sistema može da dovede. *Earth Mover’s Distance* omogućava poređenje tih distribucija i pokazuje kako trenutno stanje sistema ograničava moguća prošla i moguća buduća stanja sistema. Više o tome (*Marshall, Gomez-Ramirez and Tononi, 2016*)

nesvodiv je sledeći preduslov za postojanje koje ima veze sa uzročnošću: nema svrhe pretpostavljati da celina postoji sama po sebi, ako nema uzročno-posledičnu moć iznad i izvan svojih delova.“ (Tononi and Koch, 2015) Na slici 3.3 možemo videti do kakvog smanjenja uzročno-posledične stukture dolazi odstranjivanjem elementa C iz sistema. To ukazuje na veliku uzročno-posledičnu moć elementa C u oblikovanju sistema kao celine. Kao što ćemo uskoro videti ovo bi direktno značilo da bi se uklanjanjem elementa C drastično uticalo na promenu (sužavanje) svesnog iskustva.



Slika 3.3. (Tononi, Scholarpedia, 2015)

Ekskluzija:

Ovaj postulat definiše svesno iskustvo kao maksimalno nesvodivu konceptualnu strukturu. Unutar sistema, uzročno-posledična struktura koja se ne može redukovati na manje delove i koja ima najveću vrednost (Φ^{max}), isključuje druge alternativne uzročno-posledične strukture sa kojima deli zajedničke elemente. Takvu strukturu možemo nazvati pobednička pošto je ona „pobedila“ među alternativnim uzročno-posledičnim strukturama.

Kada računamo integrisanu informaciju dovoljno je videti koliko ona iznosi za pobedničku strukturu. Nepotrebno je računati promene koje čine druge strukture, jer njihovo postojanje ne pravi nikakvu dodatnu razliku posmatrano iz intrinzične perspektive sistema. Sistem mora da bude jedinstven, što znači da mora postojati samo jedna uzročno-posledična

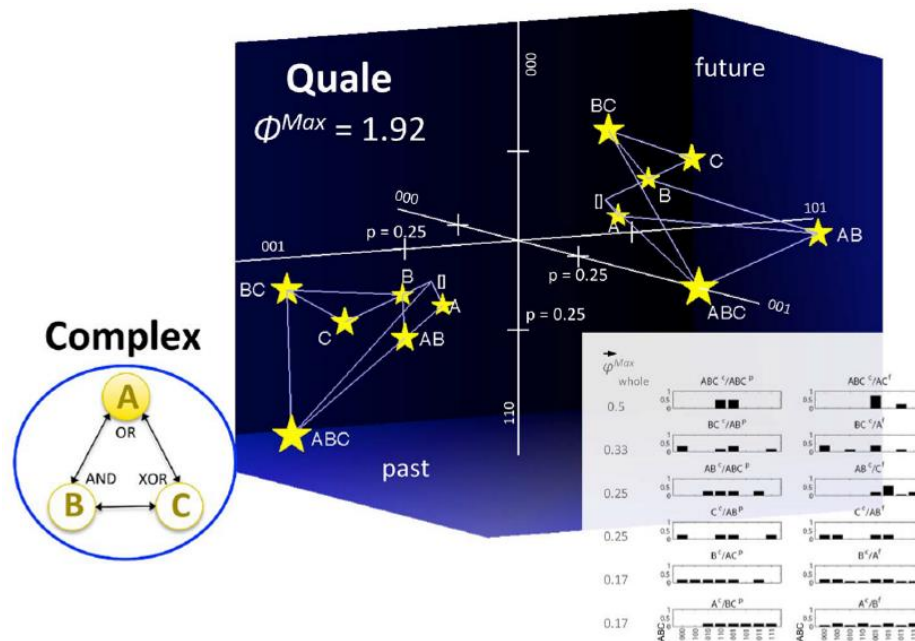
struktura koja je maksimalno nesvodiva (Φ^{max}). Glavna osobina postulata ekskluzije je da sprečava kauzalnu naddeterminaciju.

Ekskluzija podrazumeva isključivanje svih drugih podskupova koji imaju elemente koji se preklapaju sa glavnim konceptom. U suprotnom bi se uzročno-posledično delovanje navedenih elemenata računalo više puta, jer bi se računalo i za koncept koji ima stvarni kauzalni uticaj u sistemu, i za koncepte koji nemaju stvarni kauzalni uticaj. Stvarni kauzalni uticaj unutar sistema imaju samo oni elementi koji formiraju nesvodivu konceptualnu strukturu (kompleks). To znači da ukoliko bi neki manji deo, recimo jedan element, mogao da donese veću promenu u sistemu nego kombinacija tog elementa sa drugim delovima sistema koji formiraju kompleks, konceptualna struktura ne bi bila nesvodiva i kompleks bi prestao da postoji. Isto važi i u slučaju u kome se odstranjivanjem tog elementa ne bi izgubilo ništa od uzročno-posledične moći kompleksa. U prvom slučaju taj element bi individualno imao najveću kauzalnu moć u sistemu, a u drugom bio bi potpuno nevažan i kauzalno impotentan.

3.2.3 Koncepti i konceptualna struktura (kompleks)

Konceptualna struktura, koja predstavlja kvaliju, je formirana delovanjem različitih mehanizama unutar sistema. Da ponovimo još jednom, mehanizam je bilo koji podskup elemenata u sistemu (uključujući i sam sistem) koji ima uzročno-posledičnu moć, a konceptualna struktura maksimalno nesvodivi uzročno-posledični repertoar mehanizama sistema. Osnovni mehanizmi unutar sistema sami ne predstavljaju neku vrstu mikro subjektivnog iskustva. Samo u slučaju da učestvuju u *MNKS* (maksimalno nesvodiva konceptualna struktura) oni doprinose svesnom iskustvu.

Na slici 3.4 možemo videti primer sistema od 3 elementa (*ABC*). U takvom sistemu uzročno-posledični konceptualni prostor bi bio sačinjen od 16 dimenzija, gde bi 8 dimenzija obuhvatalo moguća prošla stanja kompleksa (ose na levoj strani) a 8 dimenzija sva moguća buduća stanja kompleksa (ose prikazane na desnoj strani). Zvezdama su prikazani koncepti i njihov položaj prikazuje „...kako mehanizam sastavljen od podskupa elemenata utiče na verovatnoću prošlih i budućih stanja sistema.“ (*Tononi and Koch, 2015*)



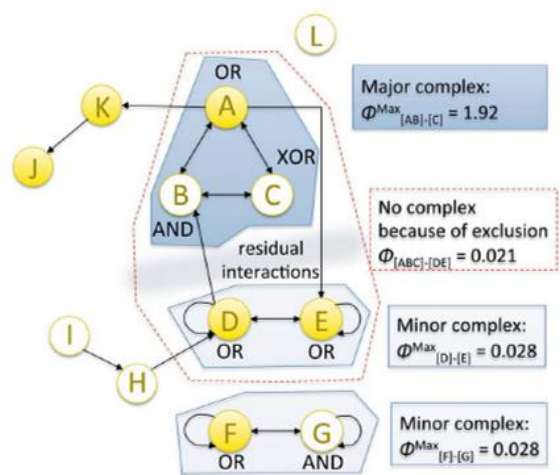
Slika 3.4 (Oizumi, Albantakis, Tononi, 2014, str.16)

Veličina zvezdice odgovara vrednosti φ^{Max} prikazuje koliko je koncept nesvodiv, tj. koliko doprinosi iskustvu i kako utiče na njega. Vrednost φ pokazuje koliki je uticaj određenog koncepta na nivou maksimalno nesvodive konceptualne strukture (kompleksa). U zavisnosti od konceptata koji formiraju konceptualnu strukturu zavisice količina i vrsta svesnog iskustva. Pozicija unutar konstelacije i veličina zvezde svakog od konceptata unutar uzročno-posledičnog prostora ukazuje na koji način svaki pojedinačni koncept utiče na iskustvo. Stoga je konceptualna struktura (kompleks) oblikovana konceptima koji formiraju konstelaciju, jedinstvenu za svako pojedinačno iskustvo. Oblik konceptualne strukture je identičan sa kvalitetom iskustva (kvalijom). Kvalitativno svojstvo svakog iskustva, pojedinačne kvalije, je predstavljena jedinstvenim oblikom konceptualne strukture. Moguće je da dve različite kvalije poseduju istu količinu svesti Φ^{Max} . Ali nemoguće je da te dve različite kvalije imaju isti oblik konceptualne strukture.

Intrinsična maksimalna nesvodivost celog kvalija prostora predstavljena je sa Φ^{Max} i direktno prikazuje koliko se svesti nalazi u sistemu, odnosno kvantitet iskustva. „Centralni identitet *III* može biti formulisan veoma jednostavno: iskustvo je identično sa konceptualnom strukturom koja je intrinzično maksimalno nesvodiva.“ (Tononi and Koch, 2015)

U svakom trenutku u mozgu postoji više kompleksa koji predstavljaju konceptualnu strukturu sa određenom vrednošću integrisane konceptualne informacije Φ^{max} . Samo će glavni kompleks (*core complex*), konceptualna struktura sa najvećom vrednošću Φ^{max} , biti svesno iskustvo (prema principu ekskluzije). Takva struktura će imati najveći intrinzični uticaj (uzročno-posledičnu moć) i u njoj će sistem imati najveće intrinzično postojanje. „Samo kompleks postoji kao entitet iz intrinzične perspektive sistema.“ (Oizumi, Albantakis and Tononi, 2014) Ilustraciju principa ekskluzije možemo videti na slici 3.5.

Grupe neurona koje učestvuju u formiranju glavnog kompleksa se menjaju tokom vremena, gde pojedine grupe neurona izlaze iz konceptualne strukture a druge ulaze u nju. Osim toga moguće je da pojedine grupe neurona promene svoje stanje pa da umesto aktivnog stanja budu inhibirane. Jedna od važnijih teza *III* je da i neaktivni neuroni podjednako doprinose svesnom iskustvu kao i aktivni. Iako na prvi pogled deluje kontraintuitivno, ova tvrdnja proizilazi iz načina na koji *III* vidi informaciju (razlika koja pravi razliku). Stoga informacija nije poruka koju šalje neki element, već način na koji element utiče na ostatak sistema. Mera u kojoj utiče na ostatak sistema vidi se preko oblika konceptualne strukture.



Slika 3.5 (Oizumi, Albantakis, Tononi, 2014, str.16)

Poput aktivnih, i neaktivni neuroni određuju uzročno-posledični repertoar (verovatnoću prošlih i budućih stanja). Neaktivna grupa neurona će nam dati informaciju o verovatnoći stanja koja su ga uzrokovala i verovatnoći stanja koja će biti njegova posledica. „Svaki neuron unutar kompleksa nužno oblikuje verovatnoću prošlih stanja (uzroka) i budućih stanja (posledica) unutar

kompleksa, u zavisnosti od toga kako je povezan sa drugim neuronima i njegovog stanja.“
(Tononi and Koch, 2015)

Svest se, prema *III*, može posmatrati kao potencijalnost sistema da izvrši diskriminacije. U svakom trenutku u sistemu izabran je jedan od mogućih repertoara koji je u tom trenutku aktualan. Svest koja proizilazi iz potencijalnosti znači da sistem može biti svestan čak iako ne bi bio aktivan. Dovoljno je samo da sistem može potencijalno da bude u nekom od mogućih stanja. *III* smatra da informacija ne mora da bude prenošena kroz sistem. Moguće je da svi elementi unutar sistema budu neaktivni a da formiraju maksimalno nesvodivu konceptualnu strukturu specifičnog oblika. Dok god postoji mogućnost da sistem unutar sebe ostvari razliku koja pravi razliku do tada će on imati svest. „To je zato što se informacija ne nalazi u poruci koju emituje element, već je to oblik *MNKS* koji je određen kompleksom.“ (Oizumi, Albantakis and Tononi, 2014) U slučaju u kome ni jedan njegov element ne bi bio aktivan, ali u kome bi elementi potencijalno bili u stanju da izvrše različite diskriminacije, sistem bi verovatno bi svestan „možda da se ništa ne dešava“. (Tononi, 2004)

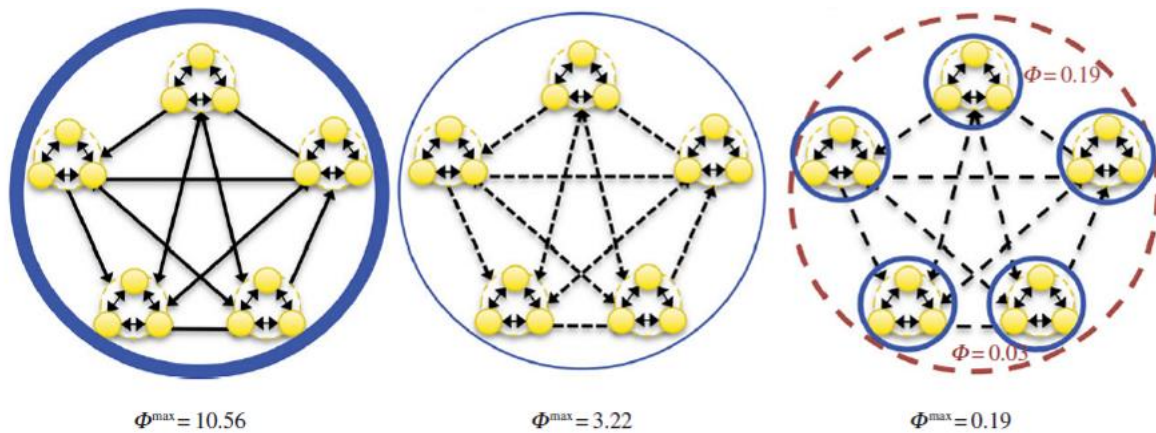
3.2.4. Sistemi sa određenom arhitekturom imaju veću šansu da budu svesni

Količina svesti je zavisna od količine integrisane informacije. Karakteristika sistema sposobnih da produkuju veliku količinu integrisane informacije je da se sastoje od većeg broja specijalizovanih područja koji su međusobnim jakim vezama integrisani u veću celinu. Na primeru ispod (slika 3.6) možemo videti kako se sa smanjenje snage veze između specijalizovanih područja smanjuje i količina integrisane informacije. Prvi sistem sa leva karakterišu jake veze između podskupova sistema i on poseduje $\Phi^{max}=10,56$. Sa smanjenjem snage veza između modula smanjuje se i količina integrisane informacije. Međutim, sistem postoji kao celina jer i dalje ima najveću količinu integrisane informacije $\Phi^{max}=3,22$.

U trećem sistemu možemo videti da su veze između podskupova toliko oslabljene, da i pored toga što između njih postoji određena interakcija, sistem prestaje da postoji kao integrisana celina, kompleks²⁷. Pojedinačni podskupovi imaju veću vrednost integrisane informacije (0,19) u odnosu na integrisanu informaciju koja se ostvaruje unutar celog sistema (0,03). U tom slučaju

²⁷ Kompleks podrazumeva maksimalnu nesvodivost, posedovanje maksimalne vrednosti integrisane informacije a ovde vidimo da celina u kauzalnom smislu (intrinzično) nije ništa više od delova koji je čine.

postojace više zasebnih kompleksa, lokalnih maksimuma integrisane informacije sa vrednošću $\Phi^{max} = 0,19$. Sistem neće biti kompleks jer će kao celina imati vrednost $\Phi^{max} = 0,03$.



Slika 3.6 (Tononi and Koch, 2015, str. 14)

III smatra da se svest može javiti isključivo u fizičkim sistemima određenih karakteristika i da se svest ne može proizvesti simulacijom. Možemo zamisliti računarsku simulaciju koja u potpunosti uključuje sva dešavanja u mozgu, počevši od mikro nivoa i unutar ćelijskih događaja, do makro događa poput komunikacije između udaljenih područja mozga.

Ali kao što možemo fizička svojstva, poput mase, testirati i analizirati ali ne i stvoriti kompjuterskom simulacijom, tako i svest možemo analizirati ali ne i stvoriti simulacijom. Zajednička karakteristika svesti i fizičkih svojstava poput mase je što su fundamentalna i jedino mogu biti ostvarena u okruženju gde postoji stvarni kauzalitet. „Stoga, baš kao što simulacija ogromne zvezde neće savijati prostor-vreme oko mašine, tako ni simulacija našeg svesnog mozga neće imati svest.“ (Tononi and Koch, 2015) Prilikom određivanja da li računar ima ili ne svest, trebalo bi razmotriti realne uzročno-posledične uticaje među njegovim komponentama. Analizom komponentata i njihovog međusobnog uticaja bi trebalo pronaći prostorno-vremenske okvire u kojima postoji konceptualna struktura sa najvećom vrednošću Φ^{max} . Takva struktura bi bila maksimalno nesvodiva, i predstavljala bi količinu svesti koju poseduje sistem a oblik strukture kvalitet svesti u takvom sistemu.

Dakle, svest podrazumeva stvarnu uzročno-posledičnu moć koja nas informiše o mogućim prošlim i budućim stanjima i koja je intrinzično maksimalno nesvodiva. Krucijalna stvar koju tvrdi *III* je da ne postoji identitet između svesti i skupa mehanizama (podskupova sistema koji imaju kauzalnu ulogu) u trenutnom stanju, već identitet između svesti i uzročno-

posledične strukture koji ti mehanizmi određuju. Moguće je analizirati kako pojedinačni mehanizam doprinosi svesnom iskustvu ali se njegova uloga posmatra isključivo unutar konceptualne strukture. Zasebno analiziranje mehanizama ne računajući konceptualnu strukturu nema smisla, jer bi isključilo odnos pojedinačnog mehanizma sa ostatkom sistema, što sa sobom povlači da gubimo uzročno-posledični repertoar sistema koji je od fundamentalne važnosti za svest. Ono što postoji je celina a pojedinačni mehanizmi se posmatraju preko svojih interakcija unutar sistema.

3.2.5. Koja je uloga delova sistema koji nisu deo glavnog kompleksa?

Snaga neke teorije se može videti na osnovu toga koliko se njena predviđanja poklapaju sa realnim stanjem stvari (empirijskim činjenicama). Tononi i Koh smatraju da predviđanja *THI* u potpunosti odgovaraju osobenostima stvarnog neuronskog sistema. Prema njima *THI* daje odgovor na pitanje zašto neki delovi mozga, poput cerebeluma, i pored toga što sadrže ogroman broj neurona, ne doprinose svesnom iskustvu?

Kao što smo videli prema *THI* svest je identična sa glavnim kompleksom. Van njega ostaje ogroman deo struktura mozga pa se postavlja pitanje njihove uloge u celokupnom sistemu. Osnovni razlog zbog koga oni ne ulaze u glavni kompleks nalazi se u tome što oni ne doprinose uvećavanju količine integrisane informacije (ne prave dodatnu razliku u sistemu). Međutim, delovi neuronskog sistema mogu da utiču na aktivnost glavnog kompleksa a da ne budu njegov sastavni deo. Cerebelum, dolazni senzomotorni putevi, subkortikalni centri i druge strukture doprinose svesnom iskustvu ali nisu njegov deo. Pošto navedeni delovi sistema ne pripadaju glavnom kompleksu to implicira da njihovi elementi neće činiti dimenzije kvaliteta prostora.

Način na koji su te strukture povezane, njihova arhitektura, u velikoj meri određuje i objašnjavaju njihovu nemogućnost da budu deo glavnog kompleksa. Tako na primer, cerebelum ima izrazito modularnu arhitekturu gde postoji velika povezanost lokalnih neurona ali mali broj srednjih i dugih aksona. Aktivacija pojedinih delova i slojeva cerebeluma ostaje lokalnog karaktera i ne širi se dalje ka udaljenijim delovima cerebeluma. „Ovo sugeriše da cerebelarne konekcije možda nisu organizovane tako da stvaraju veliki kompleks visoke vrednosti Φ , već pre dovode do mnogo malih kompleksa gde svaki ima nisku vrednost Φ .” (Tononi, 2004) To što cerebelum i drugi delovi mozga ne učestvuju u dimenzijama svesnog iskustva ne znači da na neki način ne mogu na njega uticati. Cerebelum ima sofisticiranu kompjutacionu ulogu u kontroli

motoričkih aktivnosti. Retikularna formacija direktno utiče na svest a da ne učestvuje u njenim dimenzijama. Njena osnovna uloga je da difuznim projekcijama neuromodulatora (noradrenalin, serotonin, dopamin, glutamat...) pobuđuju ostale delove mozga, pre svega talamokortikalni sistem. Ona je poput prekidača koji omogućava da se uključe ili budu u stanju pripravnosti delovi mozga koji učestvuju u formiranju dimenzija svesti. Dolazni senzorni putevi mogu da utiču na to koje ćemo senzacije imati ali sami ne učestvuju u glavnom kompleksu koji je korelat svesti. Na primer, ukoliko se kojim slučajem dogodi da odrasla osoba oslepi, ona time nije u potpunosti lišena vizuelnih doživljaja. Ona nastavlja da sanja i zamišlja jednako živopisne vizuelne scene iako od retine ne dolaze nikakve informacije.

Dakle, korelat svesti će činiti one strukture koje će u datom trenutku stvarati najveću količinu integrisane informacije. Zbog načina na koji je povezan to će najčešće biti talamokortikalni sistem.

3.2.6. Da li su svi kompleksni sistemi svesni?

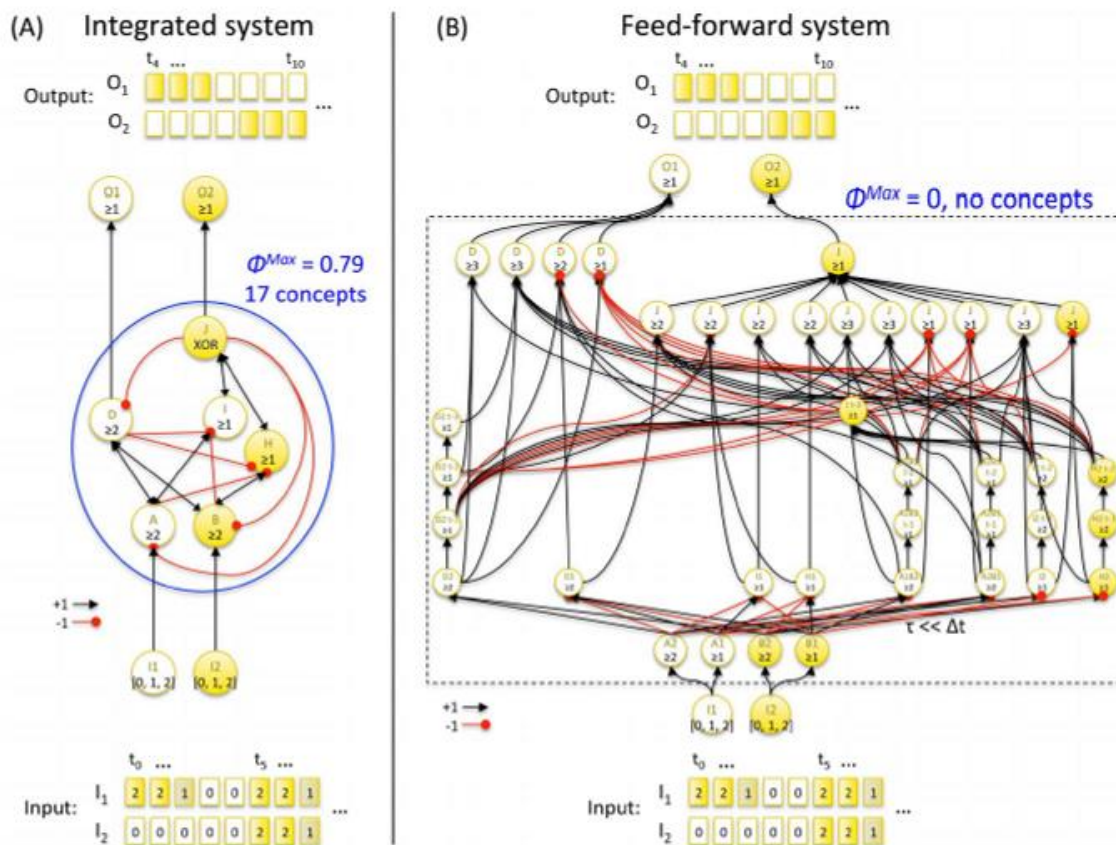
Videli smo da su prvi aksiom i postulat u *TII* postojanje. Ovde posebno treba obratiti pažnju na pojam postojanja unutar fizičkog sistema. Nešto postoji samo ukoliko može da izvrši uticaj na neke druge stvari ili ako neke druge fizičke stvari mogu da izvrše uticaj na njega. Drugim rečima, da bi nešto postojalo ono mora imati moć kauzalnog delovanja (uzročno-posledičnu moć). Da bi nešto postojalo nezavisno od spoljašnjeg posmatrača to nešto mora biti sposobno da u odnosu na samog sebe vrši kauzalni uticaj. Da bi sistem intrinzično postojao svaka promena unutar njega mora biti promena koja pravi razliku u odnosu na celi sistem.

Prema *TII* kompleksni sistemi mogu biti nesvesni. Jedan od primera je *feedforward* sistem (zombi sistem). Bilo koji čist *feedforward* sistem nema uzročno-posledičnu moć na samog sebe, pa stoga ne možemo govoriti o njegovoj intrinzičnoj egzistenciji. Nema razlike koje pravi razliku, posmatrano iz ugla samog sistema. Vrednost Φ u takvom sistemu će biti 0. Da bi sistem uticao na sebe i da bi imao bilo kakvu intrinzičnu uzročno-posledičnu moć potrebno je postojanje *feedback* konekcije. Tek tada će sistem imati neku vrednost Φ .

Na slici 3.7 su prikazana dva funkcionalno ekvivalentna sistema (*feedforward* i integrisani) koji imaju identične ulazne (*input*) i izlazne (*output*) signale. Prema *TII*, *feedforward* sistem (*B*) nema nikakav kauzalni uticaj na sebe, zbog čega je količina integrisane informacije u

njemu jednaka nuli. Sa druge strane vidimo da integrirani sistem (A) vrši uticaj na samog sebe, što znači da intrinzično postoji u vrednosti $\Phi = 0.79$.

NCC (neuronski korelat svesti) izražen u *TII* će biti glavni kompleks u određenom stanju. Glavni kompleks će posedovati najveću vrednost Φ u datom trenutku, najveću vrednost uzročno-posledične moći. U mozgu to mogu biti delovi koji obuhvataju primarni vizuelni korteks, klastrum, talamus, delove prefrontalnog korteksa, Brokino područje itd.



Slika 3.7 (Oizumi, Albantakis and Tononi, 2014, str. 21)

TII još predviđa da svest predstavlja uvek lokalni maksimum, koji ima najveću vrednost Φ . Zato Agregati ne mogu biti svesni. Kod njih ne može postojati globalna svest iznad svesti pojedinačnih komponenti. Ne može postojati svest koja bi obuhvatala na primer stanovnike sjedinjenih američkih država. Ukoliko bi se kojim slučajem omogućila direktna komunikacija između dva mozga, onoga trenutka kada bi maksimalno nesvodiva struktura sa najvećom vrednošću Φ obuhvatala oba mozga, nastala bi „über“ svest. Tada bi se u potpunosti izgubile dve svesti i postojala bi samo jedna zajednička svest koja bi ih u sebi obuhvatala. Mogli bismo da

narušimo integritet između ta dva mozga, pa da se opet pojave dve odvojene svesti. To bi se dogodilo u trenutku kada vrednost lokalnih maksimuma u pojedinačnim mozgovima prevaziđe vrednost skupa oba mozga. Navedenu hipotezu ćemo u određenoj meri eksperimentalno moći da proveravamo u bliskoj budućnosti. Trenutno se vrše istraživanja i na životinjama i na ljudima, gde se testira razmena informacija i međusoban uticaj direktno spojenih mozgova. (*Pais-Vieira, Lebedev, Kunicki, Wang and Nicolelis, 2012*) (*Rao, Stocco, Bryan, Sarma, Youngquist, Wul and Prat, 2014*) U slučaju pacijenata sa podeljenim mozgom moguće je da postoje dva odvojena neuronska korelata, po jedan u svakoj hemisferi. Svaki od njih će predstavljati lokalni maksimum integrisane informacije.

3.2.7. Prostornovremenski okviri svesnog iskustva

Koji god da su neuronski korelati svesti oni moraju da operišu u prostornovremenskim okvirima u kojima se proizvodi najveća vrednost integrisane informacije Φ . *TII* pretpostavlja da se zato svesno iskustvo odvija u vremenskim intervalima od nekoliko stotina milisekundi i prostornim okvirima koji obuhvataju veće grupe neurona u različitim područjima mozga. Gotovo sigurno postoji određena količina integrisane informacije i u manjim i u većim prostornovremenskim okvirima, na primer između pojedinačnih neurona ili čak na nivou mitohondrija. Ali u tim slučajevima vrednost Φ nije maksimalna, a prema hipotezi *TII* samo struktura sa maksimalnom vrednošću Φ može imati intrinzičnu egzistenciju i postojati kao svest. *TII* ne podržava pansihizam u potpunosti, jer svest ne možemo naći svuda oko nas. Kao što smo videli, svi sistemi i objekti koji nemaju intrinzičnu kauzalnu moć, poput agregata i *feedforward* mreža, nemaju svest.

TII mora da odgovori na sledeća pitanja: ako je za svest potrebno da postoji uzročno-posledična moć unutar sistema, da li onda postoji svest unutar ćelija ili molekula jer oni funkcionišu kao mini sistemi i unutar njih postoje složeni uzročno-posledični odnosi? Zašto u slučaju životinja i ljudi *TII* svest povezuje sa uzročno-posledičnim odnosima između neurona (neuronskih grupa) a ne nekih mikro struktura? Ako postoji više uzročno-posledičnih nivoa, koji nivo je odgovoran za svesno iskustvo? Da li je to mikro ili makro nivo?

Odgovor na navedena pitanja nalazi se u principu ekskluzije, koji podrazumeva kauzalno isključivanje nivoa sa manjom kauzalnom moći. Prema *TII* nivo koji ima veću uzročno-posledičnu moć, izraženu preko vrednosti Φ , formiraće *MNKS*. (*Tononi, Albantakis, Hoel, 2013*)

Uzmimo na primer neuron u kome se nalaze mitohondrije, unutar kojih postoji interakcija između unutrašnjih delova. Makro nivo (neuroni, a možemo govoriti i o grupama neurona ili područjima kao makro nivou) jeste supervenijentan u odnosu na mikro nivo (npr. mitohondrije, ali možemo posmatrati atome ili bilo koje druge mikro elemente). Supervenijentan je u smislu da se sastoji od mikroelemenata i da mu ne dodajemo ništa više od onoga što ima na mikro nivou, ali to ne znači da makro nivo ima istu kauzalnu moć kao i mikro nivo. Zato što neuroni imaju stvarni kauzalni uticaj, a ne mitohondrije ili drugi mikro elementi, zato će svest zavisiti od njih.

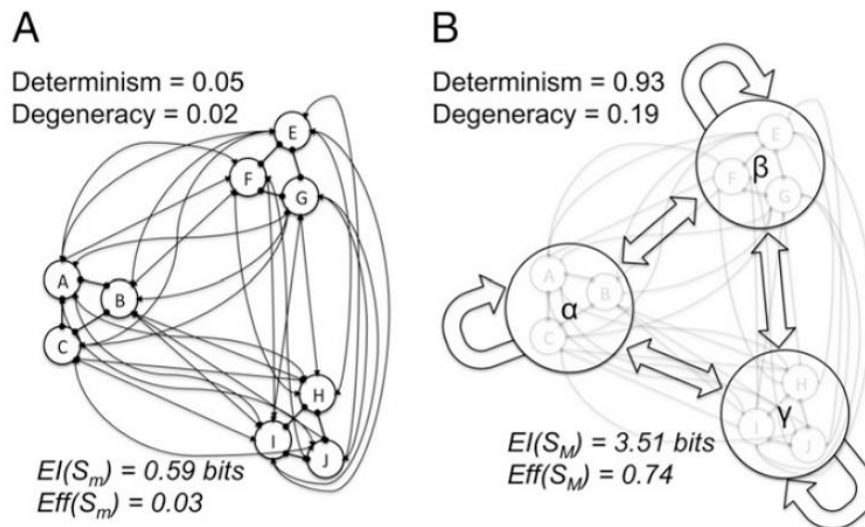
Kada makro nivo ima veći kauzalni uticaj u odnosu na mikro nivo tada postoji kauzalna emergencija. Ona predstavlja razliku između delotvorne informacije na makro nivou $DI(SM)$ i delotvorne informacije na mikro nivou $DI(Sm)$: $CE = DI(SM) - DI(Sm)$. Ukoliko je razlika $CE > 0$, tada možemo reći da postoji kauzalna emergencija. Vrednost delotvorne informacije zavisi od veličine mogućeg uzročno-posledičnog prostora i delotvornosti sistema. „Kao mera uzročnosti, DI beleži koliko delotvorno (deterministički i jedinstveno) uzroci proizvode posledice u sistemu i kako selektivno uzroci mogu biti identifikovani preko efekata.“ (Tononi, Albantakis, Hoel, 2013)

Na prvi pogled može delovati, da zbog većeg broja detalja i većeg repertoara mogućih stanja mikro nivo ima veću vrednost delotvorne informacije. U tom slučaju postoji redukcija makro nivoa na mikro nivo. Tononi, Albantakis i Hoel pokazuju da je moguća kauzalna emergencija, situacija u kojoj makro nivo ima veću vrednost delotvorne informacije. Vrednost DI zavisi i od veličine repertoara mogućih stanja i od delotvornosti mehanizma. Makro stanja sama po sebi podrazumevanju povezivanje mikro stanja u veće grupe, te stoga uvek imaju manji repertoar mogućih stanja. Zbog toga veća vrednost DI makro nivoa zavisi isključivo od veće delotvornosti mehanizma. Delotvornost mehanizma povezana je sa većom determinisanošću i smanjenom degenerativnošću. Pod determinisanošću mehanizma se podrazumeva sposobnost mehanizma da određuje moguća prošla i buduća stanja sistema. Što mehanizam više određuje moguća prošla i buduća stanja sistema, to je sistem determinisaniji.

Degenerativnost smo već pominjali u teoriji dinamičkog jezgra i ona se u širem smislu definiše kao „Sposobnost elemenata koji su strukturalno različiti da izvode istu funkciju...“ (Tononi, Sporns, Edelman, 1999) U užem smislu, degenerativnost možemo posmatrati kao situaciju u kojoj više mogućih trenutnih stanja određuje isto buduće stanje. Ako sva moguća trenutna stanja određuju isto buduće stanje tada je degenerativnost maksimalna. Delotvorna

informacija je visoka u sistemima koji su determinisani ali u kojima je niska vrednost degenerativnosti. Manja degenerativnost znači veću vrednost DI .

Još jedna stvar na koju treba obratiti pažnju je da ne postoji identitet između makro i mikro nivoa i da se sve informacije sa mikro nivoa gube na makro nivou. U suprotnom bi se makro nivo mogao redukovati na mikro nivo. Prema *THI* to je glavni razlog zašto nije moguće pristupiti informacijama koje dobijamo od pojedinačnih neurona (mikro nivo), već samo kompletnom jedinstvenom iskustvu (makro nivo). Arhitektura sistema će u velikoj meri uticati na to da li će najveći kauzalni uticaj vršiti pojedinačni elementi, manje grupe elemenata ili veće grupe odnosno čitava područja. Arhitektura malog sveta ima predispoziciju za kauzalnu emergenciju, odnosno prevlast makro nivoa.



Slika 3.8 (Tononi, Albantakis, Hoel, 2013, str. 19794)

Kauzalna emergencija se posmatra iz intrinzične perspektive. Sistem postoji iz svoje intrinzične perspektive samo u prostornovremenskim okvirima u kojima postoji najveći kauzalni uticaj, što je u ovom slučaju makro nivo. (Tononi, Albantakis, Hoel, 2013) Primer na slici 3.8 pokazuje (A) sistem u kome kauzalni uticaj imaju mikro elementi (označeni abecednim slovima A, B, C...) između kojih postoje interakcije (naznačene strelicama). Vidimo da su elementi povezani i sa članovima svoje grupe i sa elementima drugih grupa. Pod (B) je prikazan isti sistem u kome kauzalni uticaj vrše makro elementi, gde svaki makro element (označeni grčkim slovima α , β , γ) obuhvata grupu od 3 elementa. Strelice prikazuju povezanost makro elemenata unutar

sistema. Vidimo da makro elementi dobijaju ulazne signale i od samih sebe i od drugih makro elemenata.

Simulacija navedenog sistema pokazuje razliku u delotvornoj informaciji između mikro i makro nivoa. Na makro nivou sistem ima $DI=3,51$ bita a na mikro nivou $DI=0,59$ bita. Kako je $CE = DI(SM) - DI(Sm)$ vidimo da je vrednost kauzalne emergencije $CE=2.92$ bita. Iz intrinzične perspektive makro stanja „pobeđuju“ mikro stanja u smislu da sistem postoji više na makro nivou, odnosno prema principu ekskluzije on samo i postoji na makro nivou.

3.2.8. Problemi i kritike teorije integrisane informacije

Poistovećivanje svesti sa količinom integrisane informacije sa sobom povlači određene vrste problema. Jedan od prigovora se poziva na čudne posledice koje proizilaze iz teorije. Erik Švecgebel (*Eric Schwetzel*) ukazuje na nešto što u potpunosti odlazi od zdravorazumskog shvatanja svesti²⁸.

Prema njemu, izjednačavanje svesti sa integrisanom informacijom dovodi do toga da stvarima poput Sjedinjenim Američkim Državama možemo pripisati svest, budući da njih možemo da posmatramo kao sistem u kome je integrisana određena količina informacije. To proizilazi iz tumačenja informacije kao razlike, koja pravi razliku. Ukoliko postoji kauzalitet postoji i informacija, a svaki sistem koji se ne nalazi u stanju maksimalne entropije u sebi integriše određenu količinu informacije. Čak i najprostije strukture u kojima postoje uzročno posledične veze imaće svest. „Čak i binarna fotodioda nije u potpunosti nesvesna, već sadrži tačno jedan bit svesti.“ (*Tononi, 2008*)

Švecgebel smatra da ne postoji ni jedan razlog zašto Sjedinjene Američke Države ne bi bile svesne. One se sastoje od velikog broja elemenata i kompleksa koji su kauzalno povezani te stoga integrišu informacije. Takođe možemo da pretpostavimo da zbog međusobne povezanosti i interakcije podsistema, kompleks Sjedinjenih Američkih Država ne pripada nekom većem kompleksu sa višom vrednošću Φ , što ga čini maksimalno nesvodljivom strukturom.

²⁸ <http://schwitsplinters.blogspot.rs/2012/03/why-tononi-should-think-that-united.html>

Tononi i Koh odbacuju ove tvrdnje ističući da *III* pretpostavlja da postoji samo lokalni maksimum integrisane informacije. „Moja svest, tvoja svest, ali ništa između toga.“²⁹ Za njih je takođe, kao i za kritičare, neprihvatljiv sveopšti panpsihizam u kome i entiteti poput *SAD* imaju svest. Međutim, ostaje moguće da nekim sistemima poput fotodiode pripišemo svesno iskustvo u veličini od jednog bita.

Sledeći prigovor teoriji integrisane informacije akcenat stavlja na pojam informacije. Džon Serl (*John Searle*) spada u kritičare i protivnike *III* i smatra da *III* ne može objasniti svest, između ostalog jer u njenom objašnjenju podrazumeva ono što treba objasniti. Preciznije govoreći, teorija integrisane informacije podrazumeva svesnog posmatrača kako bi objasnila svest. Budući da je svest sa ontološke tačke gledišta subjektivnog karaktera, ne može se objasniti preko pojma informacije koja je zavisna od posmatrača. „Ne možeš objasniti svest tako što ćeš reći da se sastoji iz informacije, zato što informacija postoji samo relativno u odnosu na svest.“³⁰

Prema Serlu, posmatrač daje značenje informaciji: „Ili je informacija izvedena svesnim iskustvom nekog delatnika (moja misao da je Obama predsednik, na primer) ili je u nesvesnom sistemu informacija relativna u odnosu na posmatrača, svesni delatnik pripisuje informaciju nesvesnom sistemu (kao što ja pripisujem informaciju mom računaru, na primer).“³¹

Fotodioda, smatra Serl, ne može da bude svesna jer je informacija koja se nalazi u njoj zavisna od posmatrača. Sama fotodioda ne zna ništa. Iako je problematično stanovište koje zastupaju Tononi i Koh čini se da je glavni kamen spoticanja u razumevanju i definiciji pojma informacije. Serl zasniva svoje argumente na pojmu informacije koji podrazumeva značenje. A pošto je značenje zavisno od onoga ko ga pripisuje, tako je i informacija zavisna od posmatrača. Sa druge strane *III* pod informacijom posmatra informaciju kroz kauzalitet. Informacija je definisana kao razlika koja pravi razliku, odnosno kauzalni odnos koji pravi razliku u sistemu.

²⁹ <http://www.nybooks.com/articles/2013/03/07/can-photodiode-be-conscious/>

³⁰ <http://www.nybooks.com/articles/2013/01/10/can-information-theory-explain-consciousness/>

³¹ <http://www.nybooks.com/articles/2013/03/07/can-photodiode-be-conscious/>

U tom slučaju informacija se ne interpretira od strane posmatrača već *de facto* postoji u sistemu, ukoliko u njemu postoje uzročno-posledične veze koje utiču na sistem. Možemo reći da Serl koristi preskriptivan a *III* deskriptivan pojam informacije. U početnim fazama teorije integrisane informacije Tononi je koristio šenonovski model informacije koji se tiče smanjenja neizvesnosti. Već smo pomenuli da se u poslednjoj verziji *III* 3.0 kao model za meru integrisane informacije koristi (*Earth mover's distance* – mera udaljenosti između dve distribucije verovatnoće).

Skot Eronson (*Scott Aaronson*) smatra da vrednost Φ ne daje odgovor na težak problem (zašto svest postoji, zašto neko oseća nešto, kako to da aktivnost fizičkih elemenata proizvodi nešto što nije fizičkog karaktera). Prema njemu, pred naučnu teoriju ne bi trebalo staviti taj zadatak. Zbog toga podržava stav neuronaučnika koji za predmet istraživanja uzimaju mozak i interakciju neurona unutar njega. Očekivano je da će se sa povećanjem znanja o anatomskoj i funkcionalnoj strukturi mozga povećati i znanje o svesti.

Ali umesto da da odgovor na *Hard Problem*, svaka teorija koja pretenduje da opiše svest mora da da odgovor na *Pretty Hard Problem*. *Pretty Hard Problem* se odnosi na objašnjenje koji fizički sistemi imaju svesno iskustvo a koji ne. Eronson upravo u tome vidi najveći nedostatak *III*, jer ona pripisuje svest sistemima kojima u uobičajenom govoru nikada ne bismo pripisali. Bilo koji sistem koji je u stanju da integriše minimalnu količinu informacije, da primeni najjednostavnije transformacije ulaznih signala, biće svestan. Da bi teorija bila prihvaćena potrebno je da bude u skladu sa zdravorazumskim poimanjem svesti. To znači da bi trebalo da bude u skladu sa pretpostavkom da su ljudi svesni, da su životinje svesne u određenoj meri, da predmeti ili sistemi poput *SAD* nemaju svest. Kao i za sve druge teorije ovo važi i za *III*. „Po mom mišljenju, *III* ne uspeva da reši *Pretty Hard Problem* zato što neminovno predviđa ogromnu količinu svesti u fizičkim sistemima za koje niko normalan ne bi držao ni kao delimično svesne.“³² Ukoliko izjednačimo integrisanu informaciju sa svešću dolazimo do neprihvatljivog zaključka da su *DVD player-i*, *low density parity check* kodovi svesni. Bilo koji kompjutacioni mehanizam koji se bavi ispravljanjem grešaka koristi integrisane informacije iz ulaznih kodova.

³² <http://www.scottaaronson.com/blog/?p=1799>

Ova činjenica, kako smatra još jedan od kritičara Majkl Serulo (*Michael A. Cerullo*), dovodi u pitanje epistemološki pristup teorije integrisane informacije: „...i sugeriše da je *TII* pre mera protosvesti nego svesti.“ (*Cerullo, 2015*) Na prvi pogled deluje kao da *TII* u potpunosti podržava panpsihizam, ali kako je i sam Tononi naveo kod *TII* postoji konceptualna osnova koju panpsihizam ne poseduje. „Koliko je ova pozicija bliska panpsihizmu, koji drži da sve u univerzumu ima neku vrstu svesti? Sigurno, da *TII* implicira da mnogi entiteti, dok god uključuju neke funkcionalne mehanizme koji mogu da naprave izbore među alternativama, imaju određeni stepen svesti. Za razliku od tradicionalnog panpsihizma, ipak, *TII* ne pripisuje svest nasumično svim stvarima. Na primer, ako nema interakcija, nema svesti uopšte.“ (*Tononi, 2008*)

Neka opšta karakteristika prigovora upućenih teoriji integrisane informacije se odnosi na razumevanje pojma subjektivnog iskustva. Potpuno je kontraintuitivno pripisivati bilo kakvo subjektivno iskustvo *XOR* kolima ili fotodiodi. Pojam svesti kod živih organizama je neizostavno povezan sa kognitivnim sposobnostima pažnje, memorije, izvršne funkcije. To ni u kom slučaju ne možemo pripisati *DVD* plejeru ili sličnim sistemima. Tononi, Koh i ostale pristalice *TII* evidentno imaju drugačiji pogled na svest. Sama teorija implicira da količina integrisane informacije meri ono što bismo nazvali nekognitivna svest, dok se pod svešću u neuronaučnim okvirima najčešće podrazumeva kognitivna svest.

Eronson, posle više razmenjenih prepiski i argumenata sa Tononijem, dolazi do sličnog zaključka: „Čvrsto verujem da je dvostruko rešenje moguće, u kome mi prosto usvajamo različite reči za različite stvari koje smatramo ‘svešću’ – kao, na primer, stvarna svest za moju vrstu svesti i *WTF* svest za *TII* vrstu svesti. *OK, OK*, samo se šalim. A na primer ‘paradigmatičan slučaj svesti’ za jednu i ‘*TII* svest’ za drugu.“³³ Ned Blok takođe smatra da je *TII* kao teorija ima svoju vrednost ali kako on kaže to nije teorija svesti već teorija „nečega“.

Možda najveći problem *TII* jeste sama veza između vrednosti Φ i količine svesti. Tononi tvrdi da postoji relacija identiteta između svesti i maksimalno nesvodive konceptualne strukture. Međutim iako je *TII* precizno formulisana, nigde ne vidimo da je svest nužno *MNKS*. Na osnovu akisoma fenomenalnog iskustva, Tononi izvodi postulate. Upravo u ovom prevođenju aksioma u

³³ <http://www.scottaaronson.com/blog/?p=1823>

postulate leži najveći problem. Da bi svest povezali sa količinom integrisane informacije potreban nam je skok vere u objašnjenju. Potrebno je da verujemo da između svesti i integrisane informacije postoji relacija identiteta. Serulo (*Cerullo, 2015*) kao kontra argument predlaže alternativnu teoriju koja bi imala istu eksplanatornu moć kao *III*. Njegova teorija ne pretenduje da objasni svest, već služi kao pokazatelj da je moguće konstruisati teoriju koja ima jednako jaku eksplanatornu moć kao *III*. Serulo predlaže teoriju cirkularno koordinisanih poruka (*Circular Coordinated Message Theory*). *TCKP* se zasniva na činjenici da svesna stanja prati kretanje informacija u *feedback* petljama. Za svest je od suštinske važna cirkulacija informacije. Kao što Tononi uvodi Φ (*phi*) kao osnovnu jedinicu, tako i Serulo uvodi *O* (*omicron*) koji predstavlja količinu cirkulacije informacije unutar sistema. Serulo izjednačava svest sa vrednošću *O*.

Ovako definisana alternativna teorija svesti ima jednako jaku eksplanatornu moć kao i *III*. Zahvaljujući meri cirkulacije informacije unutar sistema možemo objasniti zašto fotodioda nema svest, zašto pacijenti sa podeljenim mozgom imaju dve svesti ili zašto cerebelum ne učestvuje u svesti. U slučaju diode na postoji cirkulacija informacije, te stoga nema svesti u sistemu. Za razliku od diode mozak obiluje cirkularnim petljama, pre svega u talamokorikalnom sistemu, što proizvodi veliku količinu cirkulacije informacije. U slučaju podeljenog mozga unutar svake hemisfere postoji zasebna cirkulacija informacija te stoga postoje dve svesti zasebne vrednosti *O*. U slučaju cerebeluma, zbog njegove izrazito modularne arhitekture cirkulacija informacija je mala te on ima minimalno ili gotovo nikakvo učešće u formiranju svesnog iskustva. (*Cerullo, 2015*)

Neki od prigovora usmereni su na izbor i tumačenje samih aksioma. Serulo smatra da se aksiom informacije, kako ga je Tononi definisao, ne oslanja u potpunosti na fenomenologiju. Prvi deo aksioma, koji kaže da je svako iskustvo jedinstveno, je u skladu sa fenomenologijom. Ali drugi deo koji se tiče ekskluzije informacije je Tononijev *ad hoc* dodatak. „Dok prvi deo aksioma (da je svako iskustvo jedinstveno) izgleda konzistentan sa fenomenologijom (kada uzmemo da fenomenologija uključuje oba korišćenja i iz analitičke i iz kontinentalne škole fenomenologije), drugi deo definicije (iskustvo je to što je zahvaljujući razlikovanju od ogromnog broja drugih mogućih iskustava) je Tononijev dodatak ekskluzije informacije aksiomu i nije deo fenomenologije.“ (*Cerullo, 2015*) Serulo kao i Švecgebel nalaze da je aksiom ekskluzije,

Tononijevo *ad hoc* rešenje, kojim pokušava da reši problem preširokog i neintuitivnog pripisivanja svesti (poput svesti Sjedinjenih Američkih Država).

3.3. Teorije polja – svest kao polje

Kao što smo videli, dinamičke teorije svesti smatraju da je svest dinamičko svojstvo sistema. Pored činjenica, koje su mnogo puta eksperimentalno potvrđene i koje danas niko ne osporava, da je za nastanak svesnog iskustva potrebno vreme (nekoliko stotina milisekundi), da je sinhronizacija aktivnosti između neuronskih grupa jedan od osnovnih uslova za nastanak svesnog iskustva, među dinamičkim teorijama svesti ne postoji konsenzus oko toga šta predstavlja fizički korelat svesti. Deo teoretičara zastupa hipotezu prema kojoj se povlači identitet između svesti i posebne konfiguracije polja. Kao što ćemo videti, neki teoretičari zastupaju postojanje posebne vrste polja (mentalnog/svesnog), dok drugi smatraju da je svest identična sa posebnim obrascima elektromagnetnog polja. Po čemu se izdvajaja teorija polja i šta to ona može da ponudi u odnosu na druge neuronaučne teorije svesti?

Naznaku savremene teorije polja možemo naći kod Volfganga Kelera (*Wolfgang Köhler*) koji je četrdesetih godina dvadesetog veka predložio teoriju električnog polja kao teoriju moždanih funkcija. Njegova teorija nije u posebnom smislu povezivala svest sa *EM* poljem ali mnogi smatraju da se koreni ove ideje mogu pronaći kod njega. Usled velikih kritika, gde se prevashodno misli na kritike koje su uputili prvo Lešli (*Lashley*), a posle i Speri (*Sperry*), teorija polja nije bila ozbiljno razmatrana sve do samog kraja 20 veka, kada je više autora prihvatilo ideju prema kojoj je korelat svesti posebna vrsta polja unutar mozga.³⁴ Postoji više varijacija modela svesti zasnovane na poljima a u najvažnije zastupnike spadaju Libet (*Benjamin Libet*), Mekfaden (*John Joe McFadden*), Poket (*Susan Pickett*), Džons (*Mostyn W. Jones*), Baret (*Adam Barrett*). Pored navedenih različite vidove teorije polja su zastupali i Poper (*Karl Popper*), Lindhal i Arhem (*B.I.B Lindahl and Peter Arhem*), Čarman (*Robert Charman*), Džon (*E. Roy John*), Fingelkurc i Fingelkurc (*Andrew Fingelkurts and Alexander Fingelkurts*).

³⁴ Više o tome u http://www.scholarpedia.org/article/Field_theories_of_consciousness i (*Lindahl and Arhem, 2016*)

3.3.1. HSMP (Hipoteza Svesnog Mentalnog Polja)

Jedan od najvažnijih zastupnika teze koja izjednačava svest sa poljem je Bendžamin Libet. Prema njemu hipoteza svesti kao polja daje dobar odgovor na nepostojanje izomorfizma između lokalizovanih, partikularnih neuronskih pražnjenja (fizičkog) i jedinstvenog svesnog iskustva (mentalnog). Teza svesti kao polja prevazilazi tu diskrepanciju i daje objašnjenje kako mnoštvo pojedinačnih neuronskih događaja mogu proizvesti jedno jedinstveno iskustvo.

U radu „*A testable field theory of mind-brain interaction*“ (Libet, 1994), Libet iznosi hipotezu prema kojoj se svest može izjednačiti sa posebnom vrstom polja (*Conscious Mental Field*). Za razliku od nekih drugih zastupnika ovog pravca on svest ne povezuje ni sa jednim fizičkim poljem, poput elektromagnetnog, već smatra da je svest posledica delovanja posebne vrste polja, svesnog mentalnog polja (*SMP*). „...*SMP* ne bi bilo ni u jednoj kategoriji poznatih fizičkih polja, poput elektromagnetnog, gravitacionog, itd. Svesno mentalno polje bi bilo u fenomenološki nezavisnoj kategoriji, ono se ne može opisati preko bilo kojih spoljašnje opaženih fizičkih događaja ili bilo koje poznate fizičke teorije koja je trenutno postavljena.“ (Libet, 1994, str. 120)

Razlog zbog koga se svest toliko dugo otima materijalističkim objašnjenima je sama priroda svesnog mentalnog polja. Takvo polje može opaziti samo onaj ko ga ima, *SMP* će biti to iskustvo. Ovo je osnovni razlog epistemološkog jaza. Za proveru svoje hipoteze Libet predlaže neobičan eksperiment koji se zasniva na pretpostavci da ukoliko postoji *SMP* koje ima karakteristike nezavisne od fizičkog delovanja (npr. pražnjenja neurona), moguće je da grupa neurona koja je izolovana od ostatka sistema doprinosi *SMP*. Funkcionalnom izolacijom bi se prekinuli putevi direktne neuronske električne i hemijske komunikacije sa ostatkom sistema. Ukoliko bi se električnom ili hemijskom stimulacijom izolovanog dela korteksa proizvela promena u svesnom iskustvu, to bi, smatra Libet, bio pokazatelj postojanja *SMP*. Kako bi se inače mogla objasniti činjenica da deo korteksa koji je izolovan u svakom bitnom fizičkom smislu (dotok krvi nije prekinut), može uticati na modulaciju svesnog iskustva. Ovo bi ujedno bio dokaz i da *SMP* može da vrši kauzalni uticaj na funkcionisanje neurona. Ako bi promena u izolovanom delu korteksa mogla da dovede do verbalnog izveštaja promene subjektivnog iskustva, to bi značilo da je *SMP* u stanju da deluje na neurone u područjima koji su zaduženi za produkciju govora. (Benjamin Libet, 2006)

Libet smatra da je *SMP* emergentan fenomen, globalno polje, koji ne može postojati bez odgovarajućih neuronskih aktivnosti, ali koji prevazilazi standardno razumevanje kauzalnog delovanja neurona jednih na druge. (*Benjamin Libet, 2006*) Svest ne možemo izjednačiti sa neuronskim vezama i delovanjem neurona, već sa svesnim mentalnim poljem koje je jedinstvena celina, i koja obuhvata ceo korteks. (*Benjamin Libet, 1993*) Međutim, priroda takvog polja ostaje potpuno nejasna. Ukoliko *SMP* ne pripada bilo kakvoj vrsti fizičkog polja, kako ono može da vrši interakciju sa fizičkim svetom.

Nekoliko problema proizilazi iz teorije svesti kao svesnog mentalnog polja, ja ću naznačiti samo dva za koja smatram da su najvažnija. Prvi problem hipoteze *SMP*-a se tiče razlikovanja svesnog i nesvesnog. Ukoliko se svest izjednačava sa *SMP*-om koje je globalno, dakle, obuhvata ceo mozak, kako onda objašnjavamo da neki delovi mozga koji su takođe deo *SMP*-a ne doprinose svesnom iskustvu. Kako napraviti razliku između svesnog i nesvesnog dela polja ako ono obuhvata ceo korteks? Drugi problem se tiče ontološkog statusa *SMP*-a. Iako se Libet nije jasno deklarirao po tom pitanju ovako predložena teorija i opis svesnog mentalnog polja povlači sa sobom neku vrstu dualizma, a samim tim i jedan od glavnih problema dualizma, objašnjenje interakcije mentalnog i fizičkog. Zbog toga odnos *SMP*-a sa fizičkim svojstvima neuronskog sistema ostaju problematični.³⁵

³⁵ Treba još pomenuti da Popper (*Popper, Lindahl, and Arhem, 1993*) zastupa hipotezu mentalne snage polja (*mental force field*) koja ima dosta sličnosti sa Libetovom *SMP*. Iako se hipoteza mentalne snage polja odnosi pre svega na nesvesne procese, sličnost se ogleda u tome što i jedna i druga hipoteza zastupaju vid interakcionizma i pretpostavljaju postojanje uticaja svesti (mentalni svet) na neuronski sistem (fizički svet). Prema Popperu elektromagnetne aktivnosti i pražnjenja neurona unutar mozga su zaslužne za nesvesno procesiranje, a svesno procesiranje je posledica delovanja polja mentalne snage. Između nesvesnih procesa, uspostavljenih kroz obrasce delovanja elektromagnetnog polja, i akcionih potencijala pojedinačnih neurona postoji jedna vrsta kauzalne interakcije. Električna pražnjenja i magnetni dipol dovode do nastanka *EM* polje koje zatim deluje povratno na električna pražnjenja i magnetne dipole.

Popper razlikuje dve vrste kauzalne interakcije. Jedna kauzalna interakcija predstavlja dvosmernu *bottom up* i *top down* kauzalnost. Ona je ostvarena u okviru fizičkog sveta kroz međusobni uticaj *EM* polja i električnih pražnjenja neurona. Osim ove fizičko-fizičke kauzalne interakcije postoji i fizičko-mentalna kauzalna interakcija koja predstavlja drugi vid kauzalne interakcije. Svest (svesno polje mentalne snage) vrši uticaj na ponašanje *EM* polja, a isto tako *EM* polje vrši uticaj na oblikovanje svesnog iskustva.

3.3.2. SEMI teorija polja (svesna elektromagnetna informacija)

Poket, Mekkaden i Bart za razliku od Libeta ne smatraju da je svest proizvod posebne vrste polja, već je izjednačavaju sa elektromagnetnim poljem koje je kako smo videli fundamentalno polje fizičkog sveta. Osnovnu hipotezu teorije svesti kao elektromagnetnog polja možemo naći jasno definisanu kod Suzan Poket. „Teorija svesti kao elektromagnetnog polja pretpostavlja da je svesno iskustvo identično sa određenim elektromagnetnim obrascima koje proizvodi mozak.“ (*Pockett, 2012, str 191*). Pošto mozak neprekidno prizvodi elektromagnetno polje, potrebno je otkriti razliku u konfiguraciji elektromagnetnog polja između svesnih i nesvesnih stanja. Teorija elektromagnetnog polja spada u teorije identiteta, ali za razliku od teorija neuronskih korelata koje svest izjednačavaju isključivo sa obrascima neuronskih aktivnosti, ona poput *THI* prihvata mnogostruku realizabilnost. Svest je moguća u svakom sistemu koji je u stanju da proizvede elektromagnetno polje posebne konfiguracije.

Među zastupnicim *EM* teorije postoje razmimoilaženja. Tako na primer Mekkaden zastupa kompjutacionističku verziju teorije elektromagnetnog polja prema kojoj je svest identična sa informacijom koja je integrisana unutar *EM* polja. Mekkaden podržava prethodno pomenutu tezu komunikacije putem koherencije (*Fries, 2005*) (*Fries, 2015*) koja pokazuje da sinhronizovana aktivnost (fazno zaključavanje) doprinosi povezivanju neuronskih grupa, razmeni informacija između njih, i njihovoj integraciji u jedinstvenu celinu. U hipotezi koju zastupa Mekkaden integracija se ostvaruje u moždanom *EM* polju. Nasuprot tome, Poket ne prihvata informaciju kao deo svoje teorije. Ona postavlja identitet između svesti i posebne vrste konfiguracije *EM* polja.

Prema Mekkadenu teorija *EM* polja daje najbolji odgovor zašto sinhronizacija široko rasprostranjenih neurona, koju danas sve relevantne teorije svesti prihvataju kao očigledan neuronski mehanizam, korelira sa svesnim iskustvom. (*Johnjoe McFadden, 2013*) Usled sinhronizovane aktivnosti ogromnog broja pojedinačnih neuronskih pražnjenja, doći će do međusobnog pojačavanja njihovih oscilacija i stvaranja velike kolektivne oscilacije, jakog *EM* polja (koje se može izmeriti putem *LFP-a, EEG-a, MEG-a*). Svesno iskustvo prati promena u *EM* polju, do koje dolazi zahvaljujući sinhronizaciji aktivnosti pojedinačnih neurona. Nasuprot tome, nesvesni procesi neće dovesti do nastanka i promene u moždanom *EM* polju. Osnovni razlog je to što u slučaju nesvesnih procesa pojedinačni neuroni nisu sinhronizovani, funkcionišu sami za sebe. Zbog toga nema kolektivne velike oscilacije, a male pojedinačne ostaju nedovoljne za bilo kakav uticaj na *EM* polje. Nesvesna informacija postaje svesna onoga trenutka kada postoji

dovoljno velika sinhronizovanost da utiče na promenu *EM* polja. Takvo polje Mekkaden naziva polje svesne elektromagnetne informacije (*Conscious Electromagnetic Information - CEMI*). *EM* moždano polje omogućava povezivanje prethodno razjedinjenih neuronskih informacija. Samo zahvaljujući osobini *EM* polja moguće je pojedinačne digitalne neuronske informacije ujediniti u kontinuiranu, jedinstvenu celinu. (McFadden, 2002) (McFadden, 2006)

Jedna od snaga teorije polja leži u njenoj sposobnosti da objasni jedinstvenost svesti kao jedan od osnovnih aspekata svesnog iskustva. Videli smo da je integrisanost iskustva četvrti aksiom u teoriji integrisane informacije. Prema teoriji *EM* polja informacije koje su sadržane na nivou pojedinačnih neurona, usled sinhronizacije postaju deo jedinstvene celine, elektromagnetnog polja. *EM* polje funkcioniše kao jedna celina i iz intrinzične perspektive polja ono se ne može deliti na manje vremenske ili prostorne celine a da se ne izgubi ono što polje poseduje kao celina. „Dakle, ogromna količina informacije u *EM* polju ljudskog mozga (sigurno najkompleksnijeg objekta u poznatom univerzumu) ima isti nivo jedinstva kao jedan elektron ili foton. U ovoj tački bez dimenzija, bogatoj informacijama, tvrdim, nalazi se sedište našeg iskustva.“ (McFadden, 2013, str. 164) „Dakle, sva informacija koju polje sadrži se nalazi svuda, odjedanput, povezana u jednu tačku bez dimenzija.“ (McFadden, 2006, str. 399) Teza koju zastupa Mekkaden za sobom povlači određenu vrstu panpsihizma. Informacije (nesvesne) se nalaze na različitim nivoima stvarnosti, u slučaju neuronskog sistema na nivou neurona, a postaju svesne samo kada se integrišu i postanu deo *EM* polja.

Dakle, informacije koje su prisutne na pojedinačnom nivou neurona postaju svesne onog trenutka kada su povezane u *SMP*. U tome je osnovna razlika između neuronskih procesa koje prate svesno i nesvesno iskustvo. Dok u slučaju asinhronih aktivnost pojedinačne informacije ne uspevaju da se povežu u jedinstveno *EM* polje, te stoga ostaju nesvesne, pojedinačne informacije sadržane u neuronima usled sinhronizacije postaju deo *EM* polja i postaju nam dostupne (svesne). (McFadden, 2013)

Postoji velika sličnost između teorije koju zastupa Mekkaden i koju zastupa Poket, ali takođe postoji i jedna bitna razlika. Dok Poket na svest gleda kao na epifenomen, duh u mašini, gde *EM* polje ne može kauzalno da utiče na pojedinačne neurone, Mekkaden smatra da postoji obostrani uticaj. Kako Mekkaden navodi (McFadden, 2013) nova istraživanja pokazuju uzajamni uticaj *EM* polja i pražnjenja pojedinačnih neurona. „...teorija polja *SEMI* predlaže povratnu spregu u kojoj neuroni istovremeno i stvaraju *EM* polje, ali su i pod njegovim uticajem.“

(McFadden, 2013, str. 158) Iz ovoga vidimo da Mekfaden polju *SEMI* daje funkcionalnu ulogu. Ne samo da je *EM* polje posledica delovanja pražnjenja neurona, već je ona preko povratne sprege i uzrok promene u neuronima. *EM* ima ulogu podsticanja pojedinačnih neurona da usklade fazu svog pražnjenja sa neuronima čije pražnjenje već formira *EM* polje.

Preko svog uticaja na motorne neurone svest direktno vrši uticaj i na fizički svet. Motorni neuroni ne samo da su zaslužni za izvršenje nekih fizički aktivnosti, već imaju bitnu ulogu u proizvodnji govora, procesiranju verbalne misli i memorije. Zahvaljući elektromagnetnom polju i ujedinjenoj informaciji moguća je uzročnost odozgo na dole, a samim tim svest nije epifenomen lišen bilo kakvog realnog uticaja. Transkranijalnom magnetnom simulacijom, stvaranjem *EM* polja sa sličnim karakteristikama koje ima endogeno moždano *EM* polje moguće je podstaći neurone na pražnjenje. Prema Mekfadenu ovo je očigledan dokaz da svest ima kauzalnu ulogu. „Naša svesnost (globalno *SEMI* polje) igra kauzalnu ulogu u određivanju naših svesnih akcija.“ (McFadden, 2006, str. 398)

Džons i Maksvel (*Jones and Maxwell*) poput Mekfadena prihvataju panpsihizam. (*Jones, 2013*) Prema njihovom mišljenju to je jedini način da se odgovori na ozbiljan ontološki problem koje druge neuronaučne teorije, uključujući i prethodno pomenute teorije polja, nisu u stanju da reše. Nijedno ponuđeno rešenje nije uspelo da prevaziđe težak problem i epistemološki jaz. Zbog toga zastupaju realističku teoriju polja, i oslanjaju se na konstataciju koju je prethodno izneo Rasel (*Russell, 1992*), a koja se tiče intrinzične prirode materije, koja stoji u njenoj osnovi daleko od naših pogleda. Kako Rasel primećuje, mi jedino možemo da opazimo relaciju, objektivnu prirodu materijalnog sveta. Intrinzična priroda materijalnog sveta nam ostaje van svakog domašaja.

Način da se prevaziđe epistemološki jaz jeste da subjektivna, iskustvena svojstva pripišemo materijalnom svetu. Stoga će svaki elementarni deo sveta posedovati neku vrstu subjektivnosti. Takva svojstva će biti proto svesti. Unutar sistema kakav je mozak zahvaljujući delovanju elektromagnetnog polja te proto svesti će se ujediniti u jedno jedinstveno kontinuirano svesno iskustvo. (*Jones, 2013*) Na ovaj način se pravazilazi problem kako iz nečeg potpuno neiskustvenog (materijalnog) može nastati nešto što ima potpuno drugačiji ontološki status (mentalno). Osim toga na ovaj način se objašnjava i koja je uloga sinhronizacije i *EM* polja u nastanku svesti.

Prema teoriji koju Džons zastupa, svest je identična sa „moždanom elektrohemijom“. Za razliku od Mekfadena odbacuje pretpostavke *SEMI* teorije koje se tiču uloge informacije u svesnom iskustvu. Prema njemu, informacija u kompjutacionoj teoriji je samo način da se opišu elektrohemijske interakcije i veze, a jedino one stvarno postoje. U informaciji ne postoji ništa iskustveno. Vidimo da Džons zastupa jaku formu panpsihizma, jer postulira svest kao fundamentalno svojstvo fizičkog sveta, poput mase i energije, gde EM polja unutar mozga ujedinjuju proto svesti koje poseduju diskretni elementi, poput atoma, molekula i neurona. Bitna tačka u kojoj se Džons slaže sa Mekfadenom, a razlikuje od Poket, je to što Džons prihvata da svest, *EM* polje, ima kauzalnu moć, da nije prost epifenomen. (*Jones, 2013*)

3.3.3. Suzan Poket - Svest kao posebna vrsta obrazaca elektromagnetnog polja

Osnovna metodologija utvrđivanja obrazaca *EM* polja koji predstavljaju svest se svodi na praćenje lokalnih potencijala polja (*local field potential – LFP*). Poket smatra da postoji razlika u trodimenzionalnim obrascima koje stvaraju lokalni potencijali polja svesnih i nesvesnih stanja. Jedna od upadljivih anatomskih razlika je postojanje neutralnog sloja unutar obrasca polja. Ilustraciju možemo videti na slici 3.9. Razlog zbog koga postoji neutralni sloj kod svesnih stanja je taj što je sinhronizacija, koja stvara specifičan oblik polja, zavisna od piramidalnih neurona koji ne postoje u neutralnom (4 sloju) korteksa. Unutar tog sloja vidljivi su stelatni (zvezdasti) neuroni, čija je neurofiziologija veoma drugačija od piramidalnih neurona. Za razliku od piramidalnih neurona oni nemaju usklađen smer dendrita, pružaju se nasumično, što dovodi do poništavanja njihovih dipolnih napona. Do nastanka lokalnog potencijala polja dolazi zahvaljujući prostornom usklađivanju apikalnih dendrita piramidalnih neurona koji se pružaju kroz više slojeva korteksa sve do njegove površine. Njihovo prostorno usklađivanje i kolektivna sinhronizovanost pražnjenja dovodi do nastanka dovoljno velikog elektromagnetnog polja koje čini svesno iskustvo.

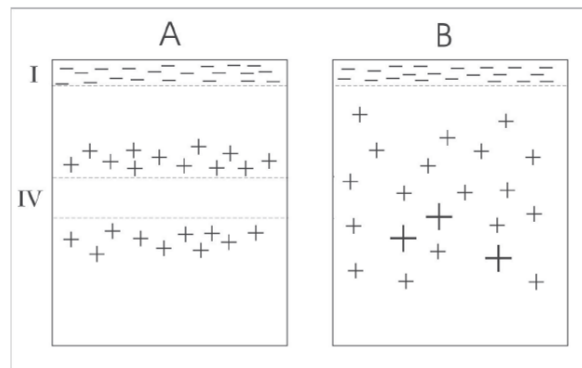
Unutar mozga jedino elektromagnetno polje nastalo kroz povratne (*feedback*) petlje može predstavljati svest. Takvo polje je detektovano u vidu *LFP-a*. Poket smatra da je arhitektura unutar pojedinih delova neokorteksa u stanju da proizvede elektromagnetno polje dovoljne veličine. Samo zahvaljujući povratnim petljama i sinhronizaciji velikog broja neruona moguće je proizvesti dovoljno veliki *LFP*. „Hipoteza prezentovana u ovom radu predviđa da je određeni minimum *LFP* amplitude potreban za svesno iskustvo.“ (*Pockett, 2012, str. 211*)

Osnovni moždani mehanizam čini sinhronizacija piramidalnih neurona koji se nalaze unutar ovih područja i čija arhitektura omogućava veću globalnu sinhronizaciju, a samim tim proizvodnju većeg *LFP-a*. Najveći *LFP* će se stvarati u regionima korteksa koji imaju 6 slojeva. Takav *LFP* prati i poseban oblik, jer se takav oblik *LFP-a* stvara uz pomoć dipola koji obuhvata i drugi i treći sloj, kao i peti i šesti sloj korteksa.

Elektromagnetni dipolni obrasci konstituišu svesno polje. Elektromagnetno polje unutar mozga je lokalnog karaktera i vrši kauzalni uticaj na druge neuronske strukture koje se nalaze u neposrednoj blizini. Elektromagnetno polje u jednom delu mozga ne može direktno uticati na elektromagnetno polje koje se nalazi u udaljenijem delu mozga. Komunikacija se obavlja neurofiziološkim putem, neuronskim pražnjenjima i prenošenjem impulsa kroz aksone.

Feedforward prenos informacija unutar mozga se odvija većinom kroz 4. sloj moždane kore, unutar koga se kao dominantna vrsta neurona izdvajaju stelatne ćelije (zvezdasti neuroni). Zbog svoje arhitekture ova vrsta neurona nije sposobna za sinhronizovanu aktivnost i proizvodnju električnih dipola, većeg lokalnog potencijala polja. Karakteristika svesnog *EM* polja jeste da unutar središta svog radijalnog obrasca imaju neutralno područje. Prema Poket sva ostala *EM* polja neće biti svesno iskustvo.

Na primeru A možemo videti kako izgleda obrazac lokalnih potencijala polja svesnih stanja, a na B nesvesnih stanja. Ako prihvatimo da je navedena razlika u konfiguraciji polja dovoljna za razlikovanje svesnih obrazaca od nesvesnih, postavlja se novo pitanje. Kako utvrditi razliku u vrstama svesnih modaliteta i sadržaja svesnog iskustva uopšte. Prema tezi koju predlaže Poket „...varijacije u radijalnoj strukturi obrazaca lokalnih potencijala polja će razlikovati različite vrste ili modalitete svesnog iskustva.“ (*Pockett, 2012, str. 203*)



Slika 3.9 (*Pockett, 2012, str. 203*)

Teorija *EMP* koju predlaže Poket se zasniva na sledećim tvrdnjama.

- 1) Samo oni moždani regioni koji su u stanju da proizvedu obrasce elektromagnetnog polja posebne konfiguracije će moći da proizvedu svest. Svesno iskustvo je identično sa jedinstvenom strukturom *EMP*.
- 2) Za svesno senzorno iskustvo su potrebne *feedback* petlje. Potrebno je da nakon prvobitnih *feedforward* signala iz senzornog korteksa dođe do povratne neuronske aktivnosti. Tada se na senzorni korteks utiče povratnim petljama iz drugih delova neokorteksa. Jedan od pokazatelja korelacije svesti sa *feedback* petljama su pražnjenja u piramidalnim neuronima koji se nalaze „nizvodno“ od senzornog korteksa i sinhronizacija aktivnosti tih područja sa aktivnostima u senzornom korteksu.
- 3) Samo delovi mozga koji imaju 6 slojeva mogu da proizvedu *EMP* odgovarajuće strukture. Pošto alokorteks (hipokampus i mirisni sistem) poseduje 3 sloja, prema teoriji on neće biti u stanju da proizvede *EMP* odgovarajuće strukture. Osim njega u delove mozga koji nisu u stanju da proizvedu svest spadaju: cerebelum (nema piramidalne neurone), motorni i premotorni korteks i subkortikalne strukture (talamus, amigdala, itd).
- 4) Na svesno iskustvo mogu da utiču samo ona elektromagnetna polja koja su uparena sa *EMP* svesnog iskustva. Uparivanje podrazumeva poklapanje u prostornom obrascu polja (već smo pominjali da ima posebnu trodimenzionalnu konfiguraciju). U suprotnom drugačije elektromagnetno polje neće direktno uticati na sadržaj svesnog iskustva. Prema teoriji *EMP* moguće je da spoljašnje elektromagnetno polje koje nije upareno sa moždanim svesnim poljem utiče na sadržaj svesti, ali to će biti samo u slučaju ako je to spoljašnje polje inverzno, ako je njegova struktura obrnuta u odnosu na moždano svesno polje. Kao što možemo da vidimo na slici 3.9, kod moždanog svesnog polja površinski sloj je negativno naelektrisan dok su dublja dva sloja pozitivno naelektrisana. Nasuprot tome kod inverznog polja bi gornji površinski sloj bio pozitivno naelektrisan dok bi dva dublja sloja bila negativno naelektrisana. Razultat uticaja takvog polja bi bilo poništavanje svesnog iskustva.
- 5) Sprečavanje potencijala lokalnog polja u talamokortikalnim područjima, čak i ukoliko pražnjenje pojedinačnih neurona koji proizvode *LFP* nije obustavljeno, dovešće do nestanka svesti.

Na osnovu dosada pokazanog, vidimo da teorija *EMP* koju zastupa Poket povlači identitet između svesti i jedinstvene strukture *EM* polja, koje kao što znamo spada u fundamentalna polja

prirode. Teorija *EMP* je teorija neuronskih korelata svesti, sa tom razlikom što korelat svesti nisu neki pojedinačni delovi mozga već elektromagnetno polje određenog oblika koje može biti proizvedeno u većem delu neokorteksa.

Osnovna razlika između teorije koju zastupa Poket i drugih psihoneuronskih teorija identiteta je u tome što Poket svest izjednačava sa posebnom konfiguracijom *EM* polja. Prema njoj neuroni uopšte nisu nužan uslov za nastanak svesti. (*Pockett, 2000*) Teorija koju ona predlaže povlači sa sobom mnogostruku realizabilnost jer će svaki sistem koji je u stanju da proizvede *EMP* takvog oblika i u kome su omogućene povrate petlje, biti u stanju da proizvede svest. Ukoliko napravimo veštački sistem od 6 slojeva koji sa odgovarajućim rasporedom naelektrisanja među slojevima, gde imamo i neutralni 4. sloj, imaćemo sistem sa svesnim iskustvom. Prema njoj, teorija koju predlaže poseduje dve filozofski veoma bitne karakteristike. Prvo, izbegava prigovor koji se upućuje svim materijalističkim pristupima (kako nešto materijalno može da proizvede mentalno), jer *EM* polje samo po sebi nije materija. Drugo, izbegava prigovore koji se upućuju dualističkim teorijama a koji se tiču odnosa fizičkog i mentalnog, jer su mnogobrojni eksperimenti pokazali da *EM* polje kauzalno deluje na materiju.

Ostaje nejasno šta je to u tom obliku *EMP-a* tako posebno u odnosu na druge oblike *EMP-a*, što čini da je samo ta konfiguracija *EMP-a* identična sa subjektivnim iskustvom. Ne postoji dovoljno jaka argumentacija koja bi nas uverila zašto je jedan obrazac *EMP* identičan sa svešću a drugi nije. Različiti delovi neuronskog sistema ostvaruju *feedback* petlje sa senzornim korteksom i proizvode različite oblike *EMP-a*. *Feedback* petlje spadaju možda u nužne ali ne i u dovoljne uslove za svesno iskustvo. Potrebna je dodanta argumentacija koja bi pokazala zašto je baš navedeni oblik *EMP* identičan sa svesnim iskustvom.

3.3.4. Teorija Integrisane Informacije Polja (*FIIT – Field Integrated Information Theory*)

Teorija Integrisane Informacije Polja predstavlja pokušaj da se pomire osnovna ideja teorije integrisane informacije sa fizičkim osnovama materijalnog sveta (teorijama polja). Najveći izazov koji stoji ispred svih teoretičara koji pokušavaju da objasne svest korišćenjem pojma informacije jeste kako da informaciju uspešno postavite u intrinzičnu subjektivnu perspektivu, potpuno nezavisnu od spoljašnjeg posmatrača. Pored teorije integrisane informacije postoje i drugi modeli koji dovode u vezu svest sa intrinzičnom informacijom. Za razliku od teorije integrisne informacije, koja svoj model bazirana na diskretnim sistemima, drugi dinamički

modeli svesti postavljaju intrinzičnu integrisanu informaciju na fundamentalni nivo stvarnosti. A kao što smo mogli da vidimo u drugom poglavlju, savremena fizika pretpostavlja da je fundamentalni nivo stvarnosti zasnovan na poljima a ne partikularijama. „Da bi bila konzistentna sa modernom teorijskom fizikom, teorija svesti koja smatra da je svest fundamentalan atribut materije mora da opiše kako svest manifestuje sebe u ponašanju, ili fundamentalnih polja ili kvantnih čestica.“³⁶ (Barrett, 2014)

Baret (*Adam Barrett*) smatra da ukoliko možemo da objasnimo svest koristeći se fundamentalnim poljima poput elektromagnetnog,³⁷ onda možemo opisati i objasniti svest bez spuštanja na kvantni nivo. U prilog toj vrsti objašnjenja (putem fundamentalnih polja) ide i eksperimentalna evidencija na osnovu koje možemo da vidimo da se razmena informacija unutar neuronskog sistema odvija na klasičan, a ne kvantni način. Pošto se međuneuronska komunikacija odvija kroz električno pražnjenje i inhibiranje neurona, čime se stvara elektromagnetno polje, jedan deo dinamičkih teorija svesti uzimaju elektromagnetno polje kao uzrok svesti. U ovome se vidi najveća razlika teorija polja u odnosu na *TII*. U teorijama polja svest se izjednačava sa količinom informacije koja je intrinzična konfiguraciji elektromagnetnog polja. Dakle, svest se može definisati kao intrinzična informacija koja pripada konfiguraciji elektromagnetnog polja. Kvalitativni aspekt svesti zavisi od topološke i geometrijske strukture elektromagnetnog polja. Prema tome svest se ne može realizovati u sistemima koji se sastoje samo od diskretnih elemenata i ne proizvode *EM* polje. Teorija koju zastupa Baret u svojoj osnovi je teorija koja izjednačava svest sa informacijom sadržanom u *EM* polju. Videli smo da i Mekfaden (*SEMI* polje) zastupa takvo stanovište. Ono što razlikuje Baretov pristup od Mekfadenovog jeste prihvatanja osnovne hipoteze *TII* (da je svest integrisana informacija), ali je Baret primenjuje na kontinuiran sistem (*EM* polje).

3.3.5. Teorije polja: zaključak i kritike

Teorije polja iako slične po nazivu poseduju veoma bitne razlike. Možemo ih podeliti na one koje smatraju da je svest identična sa posebnom vrstom polja (svesnim poljem) i one koje

³⁶ Treba imati na umu da se i kvantne čestice mogu opisati kvantnim poljima. Svaka od fundamentalnih kvantnih čestica se opisuje posebnim kvantnim poljem.

³⁷ Elektromagnetno i gravitaciono polje uz slabu i jaku nuklearnu silu spadaju u fundamentalne sile u prirodi.

svest izjednačavaju sa elektromagnetnim poljem. Deo modela koji svest izjednačavaju sa *EM* poljem smatra da je svest identična sa informacijom koju to polje proizvodi (Mekfaden, Baret). Drugi (Poket, Džons, Maksvel) smatraju da je svest identična sa intrinzičnim stanjima *EM* polja. Poket, Džons i Maksvel odbacuju mogućnost izjednačavanja svesti sa kompjutacionim korelatima svesti, bez obzira da li je reč o kompjutacijama dobijenim unutar *EM* polja.

Iako se svi prikazani modeli u ovom odeljku mogu podvesti pod teoriju polja, svaki od navedenih modela poseduje svoje specifičnosti koje utiču i na prigovore koji mu se mogu uputiti. Najvažnija pozitivna strana svih modela teorije polja je to što u svojoj suštini prevazilaze prigovore upućene modelima neuronskih korelata³⁸, a sa druge strane ne napuštaju osnovnu neuronaučnu ideju da se svesno iskustvo može proizvesti unutar fizičkog sveta.

Modeli koji svest izjednačavaju sa posebnom vrstom polja suočavaju se sa nekoliko ozbiljnih prigovora, na koje, kako nam se čini, oni ne uspevaju da odgovore. Kako možemo analizirati takvo polje koje se ne manifestuje na fizički merljiv način i čiji je glavni pokazatelj postojanja svest? Kritika teze svesnog mentalnog polja (*SMP*) je usmerena na nesposobnost merenja i definisanja prirode takvog polja. Jedina manifestacija je sama svest, ali na taj način nismo nigde otišli u objašnjenju. Još jedna stvar koja se može dovesti u pitanje je i svrshodnost uvođenja dodatne vrstu polja. Ima li uopšte potrebe da uvodimo takvu vrstu polja? Uvođenje takve vrste polja deluje kao *ad hoc* rešenje za problem subjektivne ontologije.

Kod modela koji svest izjednačavaju sa fizičkim poljem (elektromagnetnim) postoje druge vrste prigovora. Jedan od prigovora sa kojim se suočavaju je i prigovor koji je Serl uputio *TH*, gde on kritikuje *TH* kao suviše propustljivu teoriju u kojoj svemu i svačemu možemo pripisati svest.³⁹ Pošto je elektromagnetno polje jedno od fundamentalnih sila u univerzumu, možemo je naći na svakom koraku. Da li to znači da se svest nalazi svuda oko nas? Prihvatanje ovakve pretpostavke bi značilo i prihvatanje panpsihizma, a kao što smo videli, neki od autora ga u većoj (Mekfaden, Džons) ili u manjoj meri (Baret) i prihvataju.

³⁸ Najčešći prigovori tezi neuronskih korelata svesti su bili upućeni na njihov pokušaj da definišu tačno mesto gde dolazi do nastanka svesti, na njihovu nesposobnost da objasne kako se različite osobine objekata (dubina, boja, oblik) spajaju u jedinstveni objekat i kako je uopšte moguće jedinstveno kontinuirano iskustvo iz diskretnih elemenata.

³⁹ „Svest se ne može širiti kosmosom kao tanka glazura džema.“ <https://www.nybooks.com/articles/2013/03/07/can-photodiode-be-conscious/>

Drugi autori poput Poket, definišu svest preciznije, izjednačavajući je sa posebnom konfiguracijom elektromagnetnog polja. Prema njoj samo oni obrasci elektromagnetnog polja koji imaju neutralni središnji sloj i koji su nastali kroz povratne petlje predstavljaju svest. Ono što ostaje nejasno je šta je to posebno u obrascu *EM* polja koji navodi Poket. Zašto bi taj obrazac bio svestan a drugi ne? Nije jasno zašto bi subjektivno iskustvo proizilazilo iz takvog polja. Mi se čak i možemo složiti sa Poket da ovo jeste jedan od nužnih uslova za nastanak svesti, kao što to svakako jeste i globalna integrisanosti ostvarena putem moždanih oscilacija, ali se ne možemo ovim zadovoljiti kao dovoljnim uslovom za objašnjenje svesti.

Teorije polja poput *SEMI* (Mekfaden) i *TIIP* (Baret) nude drugačije objašnjenje, zasnovano na informaciji koje polje proizvodi. Kod njih svest nije izjednačena sa fizičkom manifestacijom polja (sredstvom) već sa informacijom koje to sredstvo, u ovom slučaju *EM* polje, proizvodi. Iz ove perspektive svest se isključivo svodi na relaciju i kauzalni uticaj polja. Bilo koji model koji povezuje svest sa informacijom suočava se sa prigovorom usmerenim na sam pojam informacije, što je takođe osnovna zamerka kompjutacionim modelima polja.

Oštrica kritike usmerena je na subjektivan karakter pojma informacije onako kako ga koristimo u svakodnevnom govoru. Kompjutacioni modeli informaciji pridaju subjektivni karakter kao nešto što je nezavisno od posmatrača, a to je, prema kritičarima (Poket, Serl), pogrešno. Prema njima na pojam informacije treba gledati kao na objektivan sadržaj koji se može slati i čuvati u različitim fizičkim sredstvima. Ako čak u potpunosti izbacimo značenje iz objašnjenje informacije, i čisto tehnički posmatramo pojam kao smanjenje neizvesnosti (šanonova definicija informacije), videćemo je informacija „...objektivan entitet nezavisan od duha.“ (*Pockett, 2014, str.2*)

Zastupnici kompjutacionih modela polja, mogu da brane svoju tezu pozivajući se na činjenicu da postoji veći broj definicija informacije i da ne postoji univerzalno prihvaćena definicija. Neki podrazumevaju značenje kao obavezan deo pojma informacije, drugi istinitost, a neki smatraju da pojam informacije ne mora da podrazumeva ni značenje ni istinitost. U te druge najčešće spadaju oni koji zastupaju tehničke (statističke) definicije. Zbog svega toga zastupnici kompjutacionih modela mogu da kažu, da informacija, onako kako je oni definišu, može da se koristi za objašnjenje subjektivnog iskustva.

3.4. Proširena svest: svest kao spoj okruženja, tela, i mozga

U pokušaju da bolje razumeju i objasne problem svesti, savremene neuronaučne teorije se oslanjaju na pojmove i hipoteze teorije dinamičkih sistema. Na mozak se gleda kao na kompleksan sistem koji funkcioniše na osnovama nelinearne dinamike i za njega se vezuju osobine emergencije, samoorganizacije i autonomije. Iako je došlo do veće promene u pristupu i razumevanju problema svesti, primetno je da se svest i dalje definiše u okvirima moždanih struktura. U ovom poglavlju biće izloženo stanovište proširene svesti, pre svega inaktivizam, prema kome svest svoje postojanje ne zasniva samo na dešavanjima koja se mogu ograničiti na moždane strukture⁴⁰.

Prema inaktivizmu fizičke granice u okviru kojih nastaje svest nisu precizno definisane. Svest nastaje na spoju celog organizma i njegovog neposrednog okruženja, a takav spoj nije precizno definisan i podložan je promeni. Najvažnija razlika ovog pristupa u odnosu na prethodne je proširenje nužnih uslova za svesno iskustvo van neuronskog sistema. Prema inaktivizmu organizam se ne može posmatrati u potpunosti autonomno od svog okruženja, a unutrašnja stanja organizma (bilo mentalna ili fizička) ne predstavljaju izolovana ostrva koja primaju informacije iz spoljašnjeg sveta, obrađuju ih na svoj način, a onda ponovo šalju nazad u spoljašnji svet. Pristalice proširene svesti (Varela, Maturana, Noe, Roš, Tompson, Klark i drugi) u potpunosti odbacuju ovakav ulaz-izlaz (input-output) model i zastupaju tezu inaktivizma (*enactivism*)⁴¹.

Poput prethodno izloženih dinamičkih teorija i inaktivisti podržavaju stanovište prema kome ne postoji jedno mesto odgovorno za nastanak svesti, već je svest proizvod tranzitivnih dinamičkih procesa. Tompson (*Thompson, 2007*) naziva takvu vrstu procesa dinamička koemergencija. Više reči o tome će biti nešto kasnije u odeljku.

⁴⁰ I pored toga što postoje određene razlike između nekih pristupa koji zastupaju proširenu kogniciju (ProKog) i inaktivizma, kao i činjenice da postoji više verzija inaktivizma (*Ward, Silvermana and Villalobos, 2017*), ja ću se u ovom delu baviti hipotezom koju možemo pripisati svima njima, a to je da se kognitivne sposobnosti ne mogu ograničiti samo na okvir mozga ili šire posmatrano okvir organizma. Pošto je glavni predmet istraživanja svest, fokus će biti stavljen na hipotezu da se svest ne može ograničiti samo na dinamičke kauzalne interakcije koje se odvijaju unutar tela, koji bi se u tom slučaju posmatrao kao zatvoreni sistem.

⁴¹ Zbog specifičnog tehničkog značenja i nemogućnosti da se to značenje adekvatno prenese, za pojam *Enactivism* ću koristiti fonetsku transkripciju (Inaktivizam). U nekim slučajevima ću koristiti i termin udelovljen.

Reč inaktivizam označava ideju saznavanja kroz aktivnost. Svi živi organizmi dolaze do saznanja o svetu kroz interakciju sa okruženjem. Inaktivizam možemo opisati kao stvaralačko prilagođavanje (udelovljenje). Kognicija i svest nastaju kroz dinamički odnos između organizma i njegovog okruženja. Odnos okruženja i organizma je toliko isprepletan i neodvojiv, na način da okruženje utiče direktno u stvaranju svesnog iskustva i kognicije (organizam saznaje samo one osobine okruženja sa kojima je došao u kontakt) ali isto tako mi našom interakcijom utičemo na naše neposredno okruženje i kroz život i delovanje u svom neposrednom okruženju oblikujemo spoljašnji svet.

Najvažnija tačka razmimoilaženja u objašnjenju svesti između zastupnika inaktivizma i zastupnika internalizma se ogleda u određivanju demarkacione linije do koje seže fizički supstrat svesti. Poslednjih decenija došlo je do popularizacije viđenja prema kome se opis i objašnjenje svesti ne iscrpljuje u okvirima mozga i tela, već je potrebno šire shvatanje, prema kome svest nastaje kao kombinacija uticaja celog organizma i okruženja u kome se organizam nalazi. Teorije koje zastupaju ovakvo viđenje se mogu zajednički okarakterisati kao inaktivističke.

Među najpoznatijim zastupnicima inaktivizma su Francisko Varela (*Francisco Varela*), Umberto Maturana (*Humberto Maturana*), Elenor Roš (*Eleanore Rosh*), Alva Noe (*Alva Noe*), Evan Tompson (*Evan Thompson*), Danijel Huto (*Daniel Hutto*) i drugi. Bez obzira na specifičnosti pojedinačnih stanovišta, inaktivistički pogled na svest i kogniciju se može definisati kao 4E pristup. Mentalni procesi su: utelovljeni (*embodied*), uronjeni (*embedded*), udelovljeni (*enacted*) i prošireni (*extended*). (*Rowlands, 2010*)

3.4.1. Kritika okvira kože i lobanje

Najvažnija tačka na koju su inaktivisti usmerili kritiku dosadašnjih neuronaučnih objašnjenja tiče se ograničavanja fizičkog supstrata svesti na mozak. Noe (*Alva Noe*) smatra da je dobar deo pretpostavki koje stoje u osnovi standardnog pristupa uzet bez ikakvog kritičkog preispitivanja. „Želim da promislimo ono što su naučnici uzeli zdravo za gotovo: osnovne, početne pretpostavke.“ (*Noe, 2009, str. preface XIII*) Noe kritikuje stav Francisa Krika koji je formulisao hipotezu koju je nazvao „zapanjujuća hipoteza“. „Ti, tvoje radosti i tvoje tuge, tvoja sećanja i tvoje ambicije, tvoj osećaj ličnog identiteta i slobode volje, nisu u stvari ništa više od ponašanja širokog skupa tvojih nervnih ćelija i molekula sa kojim su povezani“. (*Crick, 1994, str. 3*) Prema Kriku svest je danas u domenu izučavanja nauke, te je vreme filozofskog izučavanja

svesti prošlo. Najveći problem u ovom stavu, smatra Noe, je nemogućnost savremenih neuronaučnika da vide da se i oni kreću u okvirima određenih filozofskih pretpostavki koje su uzeli zdravo za gotovo. Danas je jedna misterija zamenjena drugom. Nepoznato je kako jedan skup neurona i molekula koji su sa njim povezani dovodi do nastanka svesti, isto kao što je nepoznato i kako neka natprirodna duševna stvar može proizvoditi svest. (Noe, 2009)

Inaktivisti smatraju da je globalna integracija moždanih struktura neophodna ali ne i dovoljna za nastanak svesti. „Ipak, pogled prema kome je svest u potpunosti kauzalno redukovana na mozak može biti biološki preuranjena. Mi jednostavno još uvek ne znamo da li je mozak sam minimalna kauzalna osnova svesti ili da li ova osnova takođe uključuje osobine mozak-telo interakciju ili mozak-telo-okruženje interakciju.“ (Thompson, 2007, str. 240)

Nauka o svesti mora da posmatra svest kroz celo živo biće, a ne da granicu postavi kod kože i lobanje. (Noe, 2009) Svest sa svim svojim trenutnim svojstvima ne zavisi isključivo od onoga što se dešava u mozgu, već i od istorije organizma i od trenutne pozicije u okruženju. Glavna zamerka savremenim teoretičarima jeste njihova tendencija da vide svest i mentalna svojstva, poput osećanja i misli, samo kao nešto što se dešava u mozgu ili nekim njegovim delovima. Ako usvojimo takvo gledište mi nismo ništa drugo nego „Mozgovi u tegli za održavanje života“ a naše telo je poput robota koji mozak nastanjuje. (Noe, 2009, str. 4)

Noe smatra da bi danas prava zapanjujuća hipoteza bila da uvidimo da mi nismo isto što i naš mozak, da shvatimo da mozak nije stvar koja nas čini svesnim, odnosno da shvatimo da zapravo u nama ni ne postoji nešto što bi bilo odgovorno za pojavu naših svesnih stanja. Trebalo bi promeniti perspektivu i izbeći pogrešnu pretpostavku koja nam je nametnuta, a to je da u nama postoji nešto što je odgovorno za to što mislimo, osećamo, čemu se nadamo. Iz te pretpostavke proizilazi pogrešan izbor sa kojim smo suočeni, a to je da je to unutra ili nešto natprirodno ili deo našeg tela. Kako hipoteza o natprirodnoj supstanciji ne deluje prihvatljivo mi smo okrenuti da posmatramo to kao na sastavni deo našeg tela. Ne postoji adekvatan razlog da se sebe ograničimo samo između ove dve alternative. Inaktivisti, uključujući i Nou, smatraju da postoji srednji put koji nudi dodatnu alternativu. Trebalo bi da se prema svesti ophodimo kao prema nečemu što mi radimo, odnosno prema nekoj živoj aktivnosti.

Da bismo razumeli svest moramo se prema njoj ophoditi kao prema nečemu što se nalazi samo unutar nas, već kao prema nečemu u šta je umešano celo živo biće koje se nalazi u određenom odnosu prema svetu oko njega. „Subjekt iskustva nije deo tvog tela. Ti nisi tvoj mozak. Pre ćemo reći da je mozak deo onoga što ti jesi“. (Noe, 2009, str. 7) Svest je posledica uzajamnog delovanja mozga, tela i okoline. „Zapravo, svest je dostignuće životinje u njenom kontekstu okruženja“. (Noe, 2009, str. 10) Postavljanje granica svesti koja seže do oboda našeg mozga deluje nezasnovano pošto nisu jasne ni granice unutar moždanih regija koje definišu određene kognitivne funkcije. Sasvim je moguće da je svest posledica interakcije događaja unutar mozga i događaja unutar tela, a kao bitan deo interakcije moramo da uključimo i okolni svet.

Vratimo se sada na početnu pretpostavku koju Noe zastupa, da svest nije nešto što se isključivo nalazi u nama već je nešto što nastaje kroz relaciju mozga, tela, i okoline u kojoj se biće nalazi. Nesumnjivo je da odgovarajuća moždana i nervna struktura i događaji u njima, predstavljaju korelate iskustava i omogućavaju njihovo postojanje, ali osim nje postoje i eksterni korelati svesti. Svesna bića duguju svoje svesno iskustvo i svetu sa kojim su neraskidivo povezani, jer u svojoj svesti ona i sadrže svet. Živa bića su isprepletana sa svetom oko njih i čine jednu suštinski jedinstvenu celinu. Samo u interakciji sa svetom biće može da doživi bilo kakva iskustva.

Za Nou je mozak integrator dinamičkog odnosa okoline, tela i mozga. Međutim, svest nećemo naći analizirajući pojedinačne neurone kao osnovne elemente analize, budući da iskustvo ne nastaje kao posledica delovanja unutar neurona. „Ne možeš više objasniti duh u odnosu na ćelije nego što možeš objasniti ples na osnovu mišića.“ (Noe, 2009, str. 48) Mentalni život moguće je objasniti samo ako se uzme u obzir šira slika, mozak sa određenom populacijom neurona (ili celom populacijom neurona u mozgu) , drugi delovi tela, i okolina u kojoj se biće nalazi. Ovo viđenje odudara od uobičajenog pogleda prema kome mozak predstavlja granicu, membranu koja odvaja spoljašnji svet i unutrašnju svet. Možda je ova zatvorenost i uzrok dosadašnjeg neuspeha da se da odgovor šta je svest, kako i zašto nastaje. Možda je potrebno da porušimo te granice i prihvatimo ideju da je za nastanak svesti potrebno preći navedenu granicu. Inaktivisti smatraju da svet nije proces, događaj ili stvar, već pre pozadina ili okvir za svo naše iskustvo. Svet je stoga nemoguće odvojiti od samog saznanja, ponašanja i svesnog iskustva. „Iz

tog razloga, šta kažemo o svetu govori nam isto toliko o nama koliko i o svetu.“ (Varela, Thompson and Rosch, 2017, str. 142)

Uloga sveta, odnosno neposrednog okruženja, pomerena je sa centralne uloge nekog ko nam obezbeđuje gotove informacije, na pozadinsku ulogu nekog ko podjednako sa unutrašnjim procesima u organizmu stvara iskustvo i usmerava ponašanje. „Ova promena traži da se pomerimo od ideje sveta kao nezavisnog i ekstrinzičnog do ideje sveta kao nerazdvojivog od strukture ovih procesa i samo-modifikacije.“ (Varela, Thompson and Rosch, 2017, str. 140) „Nije uvek lako razlikovati između ‘unutrašnjih’ i ‘spoljašnjih’ operatora. Mozak, telo i okruženje formiraju visoko povezan dinamički sistem. Oni su zajedno uronjeni pre nego unutrašnje i spoljašnje smešteni sa odnosom jedan prema drugom. Ova uronjenost mora da ima dubok uticaj na sve aspekte moždane aktivnosti.“ (Chiel and Beer, 1997, pp. 553-557)

3.4.2. Kritika reprezentativnog pogleda na sadržaje svesti

Varela, Tompson i Roš kritikuju kognitivizam kao pravac, sa svim njegovim varijacijama i podvarijacijama, jer sadržaj svesti u osnovi vide kao reprezentacije spoljašnjeg sveta. Najveća kritika kognitivizma je usmerena na pogled na mozak kao na uređaj koji procesira informacije dobijene iz spoljašnjeg sveta. Oštrica kritike je usmerena na početnu pretpostavku kojom se do sada vodila kognitivna nauka, a to je da van nas postoji jedan potpuno nezavisan svet prema kome se mi ophodimo kao prema objektu koji saznajemo. Motiv dosadašnjih kognitivističkih pristupa, smatraju inaktivisti (Varela, Roš, Tompson), nalazi se u našoj potrebi da nađemo čvrstu osnovu u kojoj bismo mogli da izgradimo saznanje. Tu potrebu oni nazivaju kartezijskom anksioznošću.

Alva Noe i Evan Tompson kritikuju istraživanje neuronskih korelata svesti i takav pristup karakterišu kao „doktrinu poklapanja sadržaja“ (*matching-content doctrine*). Doktrina poklapanja sadržaja podrazumeva da za svako iskustvo *I* postoji neuronski reprezentacioni sistem *N*, takav da je *N* najmanji neuronski reprezentacioni sistem (supstrat) čija je aktivnost dovoljna za nastanak iskustva *I*, i da postoji poklapanje između sadržaja *N* i sadržaja *I*. Prema njima dosadašnji pristup neuronaučnika prema odnosu svesti i događaja unutar mozga nije zadovoljavajući, jer ne postoji očigledan izomorfizam neuronskih stanja i sadržaja svesti. (Noë and Thompson, 2004) Možemo se složiti da postoji jaka korelacija između neuronskih korelata svesnog iskustva i samog sadržaja

svesnog iskustva, ali ne i potpuno poklapanje njihovog sadržaja. „Prema ovom pogledu, zadatak za neuronauku ne bi trebalo da bude da istraži svest prema klasičnim okvirima psihofizičke korelacije, čija je moderna inkarnacija *NCC* program⁴², već pre da izučava neurobiološke procese koji kauzalno omogućavaju (ali ne i konstituišu) naš utelovljen mentalni život.“ (*Noë and Thompson, 2004, str. 19*)

Svesno iskustvo je vezano isključivo za neuronske strukture koje formiraju supstrat. Ne samo da su sadržaji svesti u potpunosti nezavisni od dešavanja u okruženju u kojem se organizam nalazi, već su takođe nezavisni i od dešavanja u drugim delovima tela. Jedan od najpoznatijih protivnika internalističkog koncepta prema kome su uslovi koji se odvijaju u okviru mozga nužni i dovoljni za nastanak svesti je Endi Klark (*Andy Clark*). Endi Klark je formulisao tri pretpostavke koje su osnov teze poznate kao teza „radikalnog utelovljenja“. Pretpostavke su:

- 1) „Da razumevanje kompleksnog uzajamnog dejstva mozga, tela i sveta zahteva alate i metode teorije nelinearnih dinamičkih sistema.
- 2) Da su tradicionalni pojmovi unutrašnje reprezentacije i kompjutacije neadekvatni.
- 3) Da je tipično raščlanjivanje kognitivnog sistema na mnoštvo unutrašnjih neuronskih ili funkcionalnih podistema često varljivo i zaslepljuje nas za mogućnost alternativnijih i eksplanatornijih raščlanjivanja koja idu preko tradicionalne mozak-telo-svet podele.“ (*Andy Clark, 1999, str. 349*)

Navedene teze radikalnog utelovljenja služe kao polazna tačka Tompsonu i Vareli koji tvrde da procesi koji stoje u osnovi svesnog iskustva prevazilaze okvira mozga i obuhvataju kontekst mozak-telo-svet. Svest je posledica ugrađenosti moždane dinamike u telesni kontekst organizma i kontekst okruženja u kome se organizam nalazi. Priroda veze između svesti i neuronskih aktivnost se može opisati preko pojma emergencije. Emergencija, kao što smo mogli da vidimo u prethodnim poglavljima, podrazumeva kolektivno delovanje većeg broja elemenata čiji zajednički proizvod daje nelinearan rezultat. Takva veza je recipročna i obuhvata dvosmernu, cirkularnu uzročnost: odozdo na gore (*upward causation*) i odozgo na dole (*downward causation*). Da se podsetimo, uzročnost odozgo na dole znači da sistem kao celina deluje na

⁴² *NCC* program je suštinski internalistički i podržava psihofizičku supervenijenciju. „...sva psihološka stanja i procesi su supervenijentni u odnosu na istovremena unutrašnja fizička stanja organizma.“ (*Jaegwon Kim, 1993, str. 178*)

podskupove i pojedinačne elemente, a uzročnost odozdo na gore znači da se kauzalni uticaj prenosi sa manjih bazičnijih nivoa, počevši od pojedinačnih elemenata, na veće nivoe, koje na kraju uključuju celokupan sistem. Treba pomenuti da delovanje makro nivoa na mikro nivo i obratno ne mora da bude simetrično.

Teza radikalnog utelovljenja pretpostavlja da je svest globalni proces koji nastaje uzlaznom uzročnošću obuhvatajući i prožimajući tri nivoa, mozak, telo i okruženje. „Neuronski, somatski i elementi iz okruženja, verovatno će delovanjem proizvesti (putem emergencije kao uzročnosti odozdo na gore) globalni organizam-okruženje proces, koji zauzvrat utiče (putem uzročnosti odozgo na dole) na njihove sastavne elemente.” (*Thompson and Varela, 2001, str. 424*)

Dakle, mozak, telo i okruženje nisu nezavisni segmenti odvojeni jedan od drugog koji stupaju u međusobnu interakciju, već ih treba posmatrati kao povezane delove jedinstvene dinamičke celine. „Konceptualno, može se tvrditi da je interakcija sa telom *de facto* interakcija sa okruženjem, pošto su telo i okruženje čvrsto spojeni.“ (*Nolfi, 2006, str.5*)

Prema senzomotornoj teoriji perceptivna svest je posledica upotrebe perceptivnih kapaciteta organizma u neposrednom okruženju. Kvalitet pojedinačnog iskustva leži u određenim obrascima senzomotornog angažovanja. (*Degenaar and O'Regan, 2015*) Sam perceptivni kapacitet nije dovoljno jak argument i razlog da bismo nekome ili nečemu pripisali perceptivnu svest. Bilo koji senzomotorni sistem, počevši od najprostijih sistema poput rampe koja se podiže i spušta u prisustvu automobile, poseduje perceptivni kapacitet. Takođe, pridruživanje drugih funkcija poput planiranja, mišljenja i verbalnih izveštaja nisu dovoljni razlozi za koje možemo vezivati svesno iskustvo. Možemo zamisliti mašine koje daju verbalne izveštaje i vrše određenu vrstu planiranja koje i dalje ne bismo nazivali svesnim. (*Degenaar and O'Regan, 2015*) Ključ razumevanja svesti se krije u razumevanju odnosa organizma i okruženja. „Razumeti ljudski mentalni fenomen je razumeti način na koji se naša živa tela angažuju u okruženju.” (*Degenaar and O'Regan, 2015*)

„Centralna metafora ovog pristupa je duh kao otelotvorenje dinamičkog sistema u svetu, pre nego neuronska mreža u glavi.“ (*Evan Thompson, 2007, str. 11*) Svest nastaje kroz neprekidnu interakciju senzomotornih sistema sa svetom. Takvu interakciju karakteriše samoorganizacija i nelinearna dinamika. Stanovište inaktivizma se u mnogome poklapa sa prethodno izloženim teorijama o svesti kao emergentnom svojstvu dinamičkih sistema. Sličnost se ogleda u podržavanju pretpostavke da je svest (i kognicija uopšteno) dinamički proces koji se

može predstaviti preko stanja sistema i evolucije tih stanja tokom vremena. Za analizu tih stanja se koriste pojmovi teorije dinamičkih sistema. Spoljašnje okruženje i unutrašnji sistem nisu izolovani domeni već su međusobno strukturalno isprepletani.

Inaktivni pristup posmatra žive organizme kao autonomne sisteme i prihvata hipoteze navedene u prethodnim poglavljima, prema kojima organizmi predstavljaju samoorganizujuće sisteme, sa cirkularnom kauzalnošću (odozgo na dole i odozdo na gore). Stoga se svest posmatra kao emergentno svojstvo dinamičkih samoorganizujućih sistema. Thompson takvu emergenciju naziva dinamičkom koemergencijom. Ponašanje i svojstvo celine nastaje pod uticajem delovanja njenih delova, ali isto tako i ponašanje i svojstva pojedinačnih elemenata nastaju pod uticajem celine. Celina i delovi su u neraskidivom odnosu i njihovo postojanje je međusobno uslovljeno. (*Thompson, 2007, str. 38*)

U inaktivističkom pristupu od ključnog je značaja odnos između dva domena. Jedan koji bismo označili kao spoljašnji i drugi domen koji bismo označili kao unutrašnji za sistem. Kada je sistem suočen sa procesima i događajima iz spoljašnjeg sveta, on ih interpretira i procesira putem intrinzične samoorganizujuće dinamike. Sve informacije koje su spoljašnje sa stanovišta samog sistema, svoj smisao dobijaju endogenim aktivnostima sistema. Spoljašnji događaji se predstavljaju kao funkcija aktivnosti samog sistema. Spoljašnji događaji koje doživljavamo kao subjektivno iskustvo, unutar sistema odgovaraju promenljivim obrascima aktivnosti, stanjima sistema (atraktorima) kojima ti obrasci teže. „Spoljašnji svet je konstituisan kao takav za sistem zahvaljujući samoorganizujućoj aktivnosti sistema.“ (*Evan Thompson, 2007, str. 27*)

Organizam i okruženje možemo posmatrati kao dva odvojena sistema sa svojim strukturama. Dinamika stanja oba sistema uslovljava međusobnu interakciju koja dovodi do promene u stanjima oba sistema. Okruženje dovodi do promene stanja sistema organizma koji takođe, promenom svog ponašanja i odnosa prema okruženju utiče na promenu stanja u njemu. Kroz njihovu međusobnu interakciju dolazi do strukturalnog poklapanja. Dinamički odnos međusobnog uticaja na promenu stanja u oba sistema možemo nazvati koemergencijom.

Za razumevanje inaktivizma od suštinske je važnosti razumeti pojmove organizacije i strukture. Organizacija predstavlja osnovne odnose unutar sistema koji ga konstituišu kao celinu. Ti odnosi definišu neki sistem kao tip (npr. ćeliju). Isti tip sistema će imati istu organizaciju. Ono što se može razlikovati među sistemima koji imaju istu organizaciju jeste njihova struktura koja predstavlja trenutnu manifestaciju interakcija elemenata sistema. Sistem poseduje nepromenljivu

organizaciju koja ga definiše kao određeni tip sistema, ali se njegova struktura menja pod uticajem unutrašnje endogene dinamike i interakcije sa spoljašnjim svetom. Promena stanja strukture sistema je determinisana isključivo sopstvenom strukturom. Spoljašnji svet ne može determinisati unutrašnju strukturu sistema već može biti okidač koji dovodi do promene strukture. Unutrašnja struktura je ta koja determiniše šta sve može uticati na nju. Struktura sistema može biti determinisana da bude neosetljiva na delovanja iz okruženja. Kada spoljašnji svet dovodi do njene promene tada su sistem i okruženje strukturalno upareni. (*Mingers, 1991*) (*Thompson, 2007*) (*Varela and Maturana, 1980*) Strukturalno uparivanje podrazumeva da sistem, koji je zaseban entitet u odnosu na okruženje, ulazi u interakciju koja doprinosi njegovom samoodržanju. „Dok takav sistem postoji u okruženju koje ga snabdeva stvarima neophodnim za preživljavanje, onda će on imati strukturu koja odgovara tom okruženju ili se autopojezis⁴³ neće nastaviti.“ (*Mingers, 1991, str. 321*)

Šta sa uzročno-posledične strane podrazumeva strukturalno uparivanje. „Centralni nervni sistem ne izgleda više kao samosadržani organ, koji prima ulazne signale iz čula i prazni ih u mišiće. Naprotiv, neke od njegovih najkarakterističnijih aktivnosti su objašnjive samo kao cirkularni procesi, koji iz nervnog sistema izvire u mišiće i ponovo ulaze u nervni sistem preko čulnih organa, bez obzira da li su u pitanju proprioceptori ili organi posebnih čula.“ (*Wiener, 1965, str. 8*) Pošto je organizam deo spoljašnjeg sveta, ulazeći u interakciju sa njim on vrši perturbacije stanja unutar neuronskog sistema. Perturbacije mogu biti različite prirode. Moguće je da perturbacije budu unutrašnje prirode, da sam neuronski sistem dovodi do direktne promene sopstvenih stanja, kada određeni obrazac aktivnosti izaziva promenu i prelazi u drugi obrazac aktivnosti, i indirektno, kada se promene neuronske aktivnosti manifestuju u ponašanju što dovodi do promene u okruženju, gde zatim te promene stvaraju nove ulazne signale koje dalje deluju na postojeće aktivnosti sistema. Na ovaj način stvara se cirkularna kauzalna petlja koja obuhvata i sam sistem i njegovo okruženje.

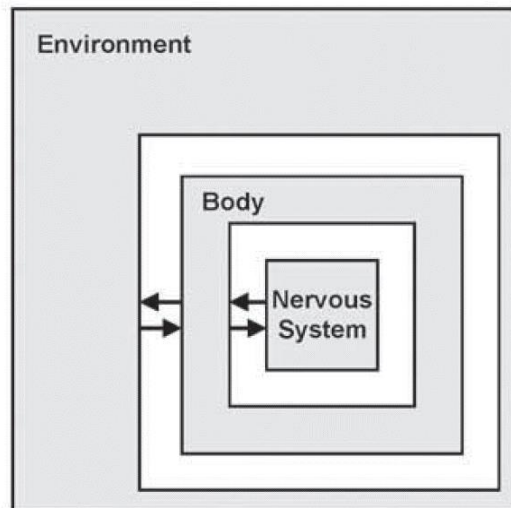
Dakle, između nervnog sistema, mozga i okruženja postoji dinamičko funkcionalno uparivanje, gde mozak sa telom čini jedinstveni dinamički sistem koji neprekidno prolazi kroz

⁴³ Autopojezis (*autopoiesis*) su prvi put kao pojam uveli Varela i Maturana i predstavlja sposobnost bioloških sistema (organizama) da se reprodukuju i samoodržavaju, da uspostavljaju homeostazu. Autopojetski sistem funkcioniše kao celina koja reorganizuje sopstvene komponente, tako da transformacija i delovanje komponenta učestvuju u regenerisanju sistema i njegovom održavanju kao celine u prostoru. (*Varela and Maturana, 1980*)

različita stanja, među kojima se izdvajaju ona kojima sistem teži (atraktori). Sa druge strane, okruženje ima uticaj na sistem tako što vrši perturbacije unutar sistema i oblikuje njegov prostor stanja.

3.4.3. Utelovljeni sistemi na primeru robota

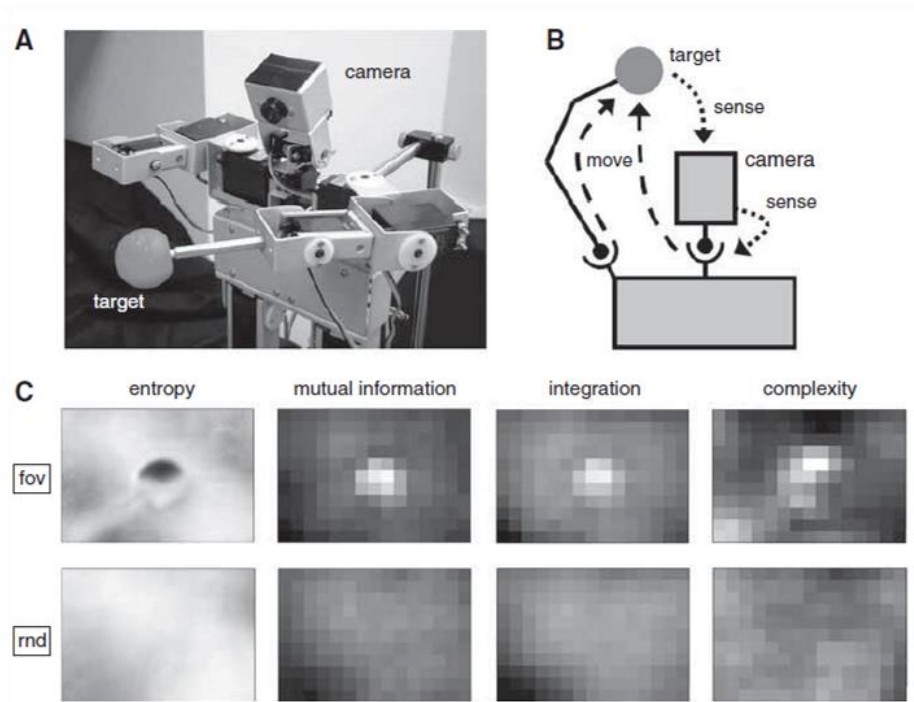
Ako pokušamo da objasnimo svest u okvirima fizičkog sveta postavlja se pitanje gde se zaista nalazi fizički supstrat svesti? Inaktivistička pretpostavka podrazumeva da supstrat mora obuhvatati ceo organizam i neposredni segment fizičkog sveta. Jedan od izazova je utvrđivanje načina na koji možemo proveriti međusobni uticaj mozga, tela i okruženja. Potrebno je da na neki način izmerimo i kvantifikujemo procesiranje i strukturiranje informacija unutar neuronskog sistema, tela i okruženja. Za taj zadatak najbolje je koristiti pojmove informacione teorije i teorije dinamičkih sistema. Kao što smo mogli da vidimo u prethodnim poglavljima, svest je odlika sistema velike kompleksnosti, koji unutar sebe generišu visoke vrednosti informacije. Zato je ključno pitanje da li uparivanje mozga, tela i okruženja doprinosi brzini i količini razmene informacija? (slika 3.10)



Slika 3.10 (Sporns, 2010, str. 307)

Lungarella (*Max Lungarella*) i Sporns (*Olaf Sporns*) smatraju da procesiranje informacija nije samo unutrašnja funkcija nervnog sistema. „Ovde mi pokazujemo, nasuprot, kako sensorimotorna interakcija i morfologija tela mogu da proizvedu statističke regularnosti i informacionu strukturu u senzornim ulaznim signalima i unutar neuronske kontrolne arhitekture, i kako se tok informacija između senzora, neuronskih jedinica i efektoru aktivno oblikuje

interakcijom sa okruženjem.“ (*Lungarella and Sporns, 2006, str. 1301*) Njihov pristup u izučavanju utelovljenja podrazumeva korišćenje kompjucionog modela na primeru robota. Na slici 3.11 pod *A* možemo videti kako je *Roboto* izgledao, pod *B* šematski prikaz interakcije senzornog, neuronskog i motornog sistema, pod *C* su prikazane prosečne vrednosti entropije, zajedničke informacije, integracije i kompleksnosti. Prosek je izveden na osnovu 5 simulacija, gde se svaka simulacija sastojala iz 1000 vremenskih koraka.



Slika 3.11 (*Sporns, 2010, str. 321*)

Model (slika 3.11) je analizirao proces razmene informacija između vizuelnog sistema, motornog sistema i okruženja. Robot (*Roboto*) kojeg su konstruisali u ovu svrhu imao je torzo, glavu (gde je kamera predstavljala oči i prikupljala informacije za vizuelni sistem), desnu ruku sa mobilnim ramenom, fleksibilnim laktom i zglobovima. Eksperiment je trebalo da utvrdi koliko koordinacija ponašanja vizuelnog i motoričkog sistema u okruženju utiče na sinhronizaciju i snagu informacionog toka, između senzornih, neuronskih i motornih promenljivih. Na vrh ruke je pričvršćen predmet, vizuelna meta koju je ruka pomerala ispred glave robota. U slučajevima u kojima je omogućena komunikacija između ruke i kamere, kada se dinamika senzornih, vizuelnih i motornih delova odvijala neometano u realnom vremenu, dolazilo je do njihovog uparivanja, uspostavljanja međusobne koordinacije (slika 3.11, primer *C, red fov*). To je dovelo do smanjenja

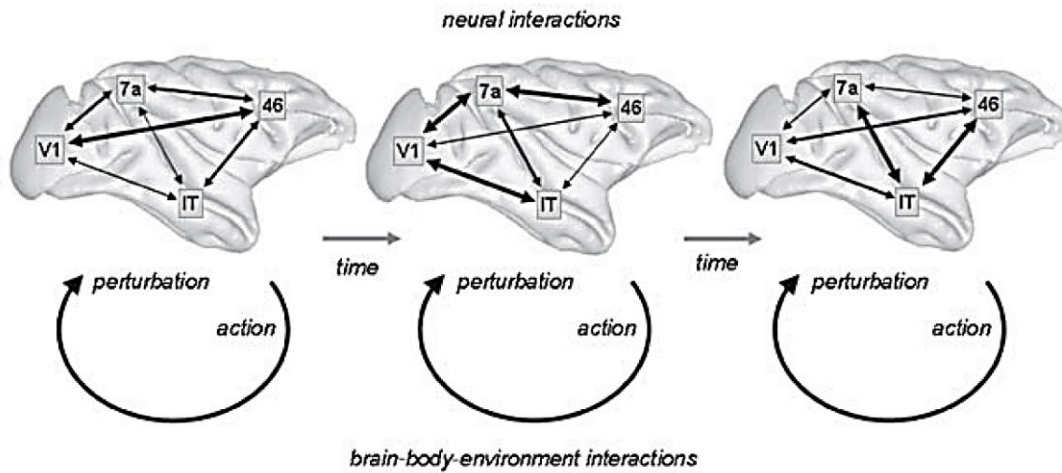
entropije, povećanja kompleksnosti, povećanja zajedničke informacije i integracije u središnjem delu vizuelnog polja (u kome se predmet nalazio). U dugom slučaju umesto da motorni signal bude u realnom vremenu, pušten je nasnimljen motorni signal. Na taj način onemogućena je veza između kamere i ruke u realnom vremenu i došlo je do nekoordinisanog ponašanja. Pošto se nije moglo uspostaviti senzorimotorno uparivanje, došlo je do povećanja entropije, smanjenja integracije i gotovo potpunog gubitka informacije. (slika 3.11, primer C, red rnd). (*Lungarella and Sporns, 2006*)

Na osnovu ovoga vidimo da je u slučaju kada je vizuelni sistem utelovljen, uparen sa motornim aktivnostima, u sistemu smanjena entropija, veća razmena informacija, veća integrisanost i povećana kompleksnost samog sistema. Osim navedenih parametara za utvrđivanje kauzalnih odnosa i merenje toka informacija, Lungarella i Sporns su koristili i transfer entropije, što im je omogućilo da vide i količinu i smer razmenjene informacije. Detaljnije o tome možemo videti u (*Lungarella and Sporns, 2006*).

Istraživanje je pokazalo da informacija dobijena senzorimotornim uparivanjem prevazilazi informaciju dobijenu putem izolovanog sezornog sistema. Između mozga, tela i okruženja se formira kauzalna mreža, predstavljena u vidu vremenski zavisnih obrazaca aktivnosti koji obuhvataju sva tri segmenta (mozak, telo i ekonišu). Količina informacije koju celokupna kauzalna mreža proizvodi zavisna je od same neuronske arhitekture, ali i od morfologije tela i kompleksnosti okruženja. Oblik tela, broj i raspored receptora direktno utiču na brzinu i količinu informacije koja se procesira unutar neuronske mreže.

Istraživanje pokazuje da interakcija organizma sa okruženjem čini da njeni senzorni ulazni signali budu pretvoreni u motorne izlazne signale, koji potom direktno utiču na to kakvi će biti sledeći ulazni senzorni signali. Na ovaj način stvara se cirkularna kauzalnost i informaciona petlja koja dokazuje da je organizam na informacionom nivou ugrađen u okruženje. Informaciona petlja utelovljenog sistema se označava kao percepcija-akcija petlja. (slika 3.12) Ona predstavlja proširenje u odnosu na uobičajeno shvatanje informacione petlje unutar neuronskog sistema. Informacioni tok ide van okvira mozga i organizma što dovodi do uvećanja kapaciteta i sposobnosti informacionog procesiranja unutar neuronskog sistema. „Da kažemo još jednostavnije, izlazni signali oblikuju ulazne signale isto toliko koliko ulazni signali oblikuju izlazne i iz ovog prostog razloga mozak nije autonoman, već zavisi od utelovljenih interakcija za strukturisane informacije. Utelovljeni sistemi su informaciono vezani za njihovo okruženje, a

statističke interakcije unutar moždanih mreža su podložne uticaju koji proizilaze iz delovanja ovih mreža u stvarnom svetu.“ (Mesquita, Barrett, and Smith, 2010, str. 56) Slika 3.12 ilustruje kako senzomotorno uparivanje u kontekstu okruženja modulira funkcionalnu povezanost unutar neuronskog sistema.



Slika 3.12 (Mesquita, Barrett, and Smith, 2010, str. 59)

Kljubin (Alexander Klyubin) i kolege su pokušali uvođenjem posebno definisane jedinice mere, osnaživanje (*empowerment*), da kvantifikuju količinu informacije koja se može proizvesti unutar informacione petlje (percepcija-akcija petlje). Osnaživanje (*empowerment*) se odnosi na potencijalnu količinu informacije koju utelovljen sistem može da stvari u okruženju preko svojih efektora (delom tela koji vrši interakciju sa okruženjem), a da ona bude detektovana senzorima. „Ona meri kapacitet delatnika da utiče na svet tako da se ovaj uticaj može opaziti preko delatnikovih senzora.“ (Klyubin, Polani, Nehaniv, 2008, str. 1) „...ona gleda na informaciju koju bi posebno sam delatnik mogao da proizvede a koja bi se zatim ubacila u sistem, pre nego informaciju (ili entropiju, zavisno od perspektive iz koje se posmatra) koja se generički proizvodi negde u sistemu.“ (Klyubin, Polani, Nehaniv, 2008, str. 11) Striktno posmatrano osnaživanje kao mera nam ne otkriva ništa novo po pitanju svesti unutar nekog sistema, ali je korisna sa stanovišta kvantifikacije informacije koja „cirkuliše“ u informacionom toku utelovljenih sistema. Kvantifikacija takve informacije može biti korak napred u razumevanju proširenog delovanja neuronskog sistema.

3.4.4. Utelovljenost na primeru bioloških sistema

U prethodnom slučaju smo dinamiku utelovljenih sistema analizirali putem simulacije na robotu. Istraživanja su pokazala da između mozga, tela i okruženja postoji informacioni tok koji utiče na modulaciju unutrašnjih neuronskih struktura, što dovodi do poboljšanja kapaciteta informacionog procesiranja i omogućava organizmu da bolje ostvari bihevijoralne zadatke. Kako bismo preciznije utvrdili kauzalni odnos mozga, tela i okruženja u realnoj situaciji, stavićemo fokus na istraživanja na živim organizmima.

U prvom periodu života mozak nije razvijen u potpunosti i veoma je podložan uticajima okoline. Nakon rođenja putem iskustvene selekcije dolazi do formiranja i oblikovanja neuronskih veza. Kod živih organizama svet doslovno postavlja uslove za posedovanje iskustva sveta. Eksperimenti sprovedeni na mačićima su pokazali da svetlosna deprivacija u periodu neposredno nakon rođenja, u periodu koji je krucijalan za razvoj vida, dovodi do trajnog gubitka sposobnost vida. (*Hubel and Wiesel, 1964*)

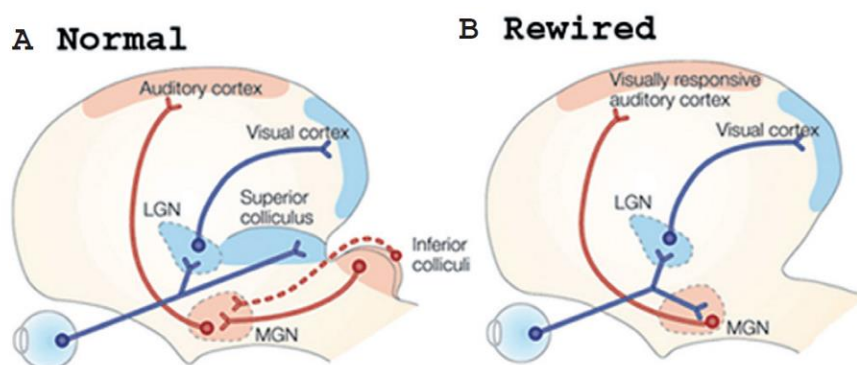
U poslednjih nekoliko decenija istraživanja su nam otkrila da unutar mozga postoje specijalizovana područja, koja služe za procesiranje pojedinačnih osobina spoljašnjih stimulusa. Na primer, poznato je da su jedni delovi mozga zaduženi za obradu vizuelnih stimulusa (okcipitalni režanj) dok su drugi zaduženi za obradu auditivnih stimulusa (temporalni režanj). Ovakav pogled na mozak i neuronski sistem postao je dominantan i funkcionalna podeljenost na podsisteme (*boxology*) nije dovođena u pitanje.

Naučnici poput Mriganke Sur (*Mriganka Sur*) svojim radom doveli su u pitanje *boxology*. Ona nije odbacila činjenicu da unutar mozga postoje specijalizovana područja, već je dovela u pitanje nepromenljivost funkcija određenih moždanih područja. Istraživajući do kojih granica može ići plastičnosti mozga kod lasica Mriganka Sur je sa kolegama sprovedla operaciju prespajanja i premrežavanja vizuelnih i auditivnih senzornih puteva. (*Sur, Angelucci and Sharma, 1999*)

Kod tek rođenih lasica izvedene su operacije u kojima je očni nerv spojen sa delom mozga koji je zadužen sa obradu auditivnih signala. Istovremeno su neuronski putevi koji idu od uha spojeni sa delom mozga koji je zadužen za obradu vizuelnih signala. (slika 3.13) Ovo istraživanje je u značajnoj meri pomoglo razumevanju uloge senzornih organa i moždanih područja u pojedinačnim senzornim iskustvima. Jedna od pretpostavki pre sprovedene operacije

je bila da će moždana područja zadužena za obradu specifičnih senzornih modaliteta (vida ili sluha) biti ta koja će uticati na sadržaj iskustva. Pretpostavljalo se da će signali koji dolaze stimulacijom oka proizvoditi auditivna iskustva, jer se obrađuju u centru koji je zadužen za procesiranje auditivnih signala, a da će signali koji dolaze preko stimulacijom uha proizvoditi vizuelna iskustva, jer se procesiraju u području zaduženom za procesiranje vizuelnih informacija. Međutim, dogodilo se suprotno. Delovi mozga koji u regularnim okolnostima služe za obradu i procesiranje auditivnih signala preuzeli su ulogu dela mozga koji je zadužen za obradu vizuelnih signala, i obratno, delovi mozga zaduženi za procesiranje vizuelnih signala sada su preuzeli ulogu obrade auditivnih signala. Ispostavilo se da su senzorni organi ostvarili dominantni uticaj i promenili ulogu moždanih područja.

Navedena operacija bacila je potpuno novo svetlo na plastičnost mozga i odnos između moždanih struktura i kvalitativnog aspekta svesnog iskustva. Ako je moguće da čitava područja zamene funkcionalnu ulogu, onda najverovatnije ne postoji posebna vrsta neurona koja određuje kvalitet svesnog iskustva.



Slika 3.13 (Sharma and Sur, 2014, str. 725)

Koliko je plastičnost mozga povezana celokupnom telesnom šemom i koliko ukupan kontekst u kome se organizam nalazi utiče na oblikovanje svesnog iskustva možemo videti u slučajevima u kojima su nakon amputacije ljudi imali iskustvo dodira amputiranom rukom. Na veliko iznenađenje to iskustvo im se javljalo pri dodirivanju pojedinih delova lica. (Ramachandran and Rogers-Ramachandran, 2000) Na slici 3.14 možemo videti osobu 4 nedelje nakon amputacije ruke. Na licu su markerom označene tačke čijim dodirivanjem se istovremeno proizvodio osećaj dodira lica i osećaj dodira izgubljene (fantomske) ruke.

Nakon operacije došlo je do povezivanja stimulusa koja dolaze od lica sa subjektivnim iskustvom dodira amputirane ruke. Neurološko objašnjenje ovakvog fenomena stoji u fizičkoj blizini delova mozga koji su zaduženi za obradu signala koji dolaze iz ruku i signala koji dolaze stimulacijom lica. Pošto je ruka amputirana, deo mozga u somatosenzornom korteksu, koji je zadužen za obradu signala koji dolaze iz ruke, ostaje bez funkcije. Tokom vremena taj region je preuzeo ulogu područja zaduženog za obradu signala koji dolaze od lica. Krajnji rezultat je premrežavanja i povezivanje signala koji dolaze od lica sa iskustvom dodira.

Fenomen fantomske ruke stoje u suprotnosti sa prethodno pomenutim istraživanjem na lasicama. Kako je moguće da naše subjektivno iskustvo nekada zavisi od izvora stimulacije (čula), a nekada od specijalizovanih područja mozga? Noe smatra da celokupan kontekst u kome se organizam nalazi (mozak-telo-okruženje) utiče na formiranje našeg iskustva. „Ono što objašnjava posledice za svest kod ove vrste premrežavanja nije intrinzičan karakter samih neurofizioloških promena; to je pre veći skup okolnosti ili kontekst u kome se ove neurofiziološke promene dešavaju.“ (Noe, 2009, str. 56)

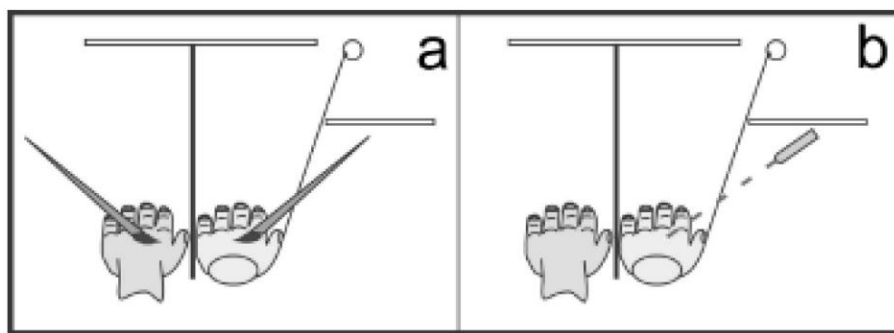


Slika 3.14 (Ramachandran and Rogers-Ramachandran, 2000, str. 318)

Koristeći gumenu ruku Metju Botvinik i Džonatan Koen (Matthew Botvinick and Jonathan Cohen, 1998) su pokazali kako se uz pomoć predmeta koji ne pripada našem telu može proizvesti osećaj dodira. Ova iluzija pokazuje kako multimodalna interakciju između vida, dodira i propriocepcije doprinosi subjektivnom iskustvu tela. Iluzija nastala gumenom rukom je

potvrđena i u drugim istraživanjima (*Durgin, Evans, Dunphy, Klostermann, and Simmons, 2007*) (*Ehrsson, Holmes, and Passingham, 2005*). Eksperiment je prikazan na slici 3.15.

Ispitanik se nalazi u sedećem položaju sa levom rukom položenom na stolu. Ruka je okluderom sakrivena od pogleda ispitanika, a ispred njega je postavljena lažna leva gumena ruka koju ispitanik može da vidi, sa napomenom da je lažna ruka postavljena u isti položaj u kome se nalazi prava ruka. (slika 3.15) Eksperiment se izvodi tako što se u periodu od nekoliko minuta sinhronizovano stimulišu i prirodna i gumena ruka. Prvobitno su Botvinik i Koen iluziju sprovodili pomoću četkice za slikanje (primer a na slici 3.15), a u novijim istraživanjima je osim četkice korišćen i laser (primer b na slici 3.15).



Slika 3.15 (*Durgin, Evans, Dunphy, Klostermann, and Simmons, 2007, str. 153*)

U slučaju u kojem je korišćen laser ispitanici su osećali toplotne i taktilne senzacije i pored toga što svetlo lasera nije padalo na kožu njihove ruke, već je bilo usmereno na gumenu ruku. Do iluzije dolazi zahvaljujući multisenzornoj integraciji, kada signali jednog senzornog modaliteta proizvode subjektivno iskustvo drugog senzornog modaliteta. „U trenutnom slučaju, senzorna integracija zavisi od toga koliko lako se gumena ruka može uključiti u telesnu šemu ili telesnu sliku.“ (*Durgin, Evans, Dunphy, Klostermann, and Simmons, 2007, str. 152*)

Navedena istraživanja sugerišu da ne postoji precizna demarkaciona linija između onoga što je zaista deo tela i onoga što osećamo kao deo svog tela. Eksperiment sa gumenom rukom i fenomen fantomske ruke pokazuju da telesna šema može biti promenjena i preoblikovana i da granica koja je postavljena da nešto doživljavamo kao naše, odnosno kao deo našeg tela, nije tako striktna. To najbolje znaju slepe osobe koje vremenom štap koji koriste za kretanje počinju da doživljavaju kao produženi deo tela. Tačka preko koje oni osećaju dodir nije ruka, već vrh štapa

preko koga mogu da oseće šta se nalazi oko njih, kakve je teksture i slično. Ruku doživljavamo kao svoju ne samo zbog toga što je deo našeg sopstvenog tela i što je kao takva povezana nervima sa mozgom, već i zato što ona učestvuje u svakodnevnom životu u ostvarenju naših planova i što je deo naših navika. Mi ne samo da se nalazimo u svetu koji nas okružuje, već je on i deo nas samih. To je glavna tačka diferencijacije stanovišta proširene svesti i stanovišta koje prihvataju internalističku pretpostavku.

Još šezdesetih godina prošlog veka Pol Bah i Rita (*Paul Bach-Y-Ritha*) je kroz istraživanje intramodalnih odnosa i senzorne supstitucije pokazao veličinu plastičnosti mozga. Razvijen je sistem (*HMI: human-machine interface*) koji omogućava uparivanje mozga sa informacijama dobijenim preko veštačkog receptora. Zahvaljujući njemu i timu saradnika ne samo da je otkriveno do koje mere se mozak može reorganizovati, već su konstruisani i aparati koji su omogućili da se putem jednog čula (taktalnog) zameni nedostatak drugog (vida), ili da osoba preko taktalnog čula (putem jezika) ponovo nauči da uspostavi telesni balans. (*Bach-Y-Rita, Danilov, Tylerf and Grimm, 2005*)

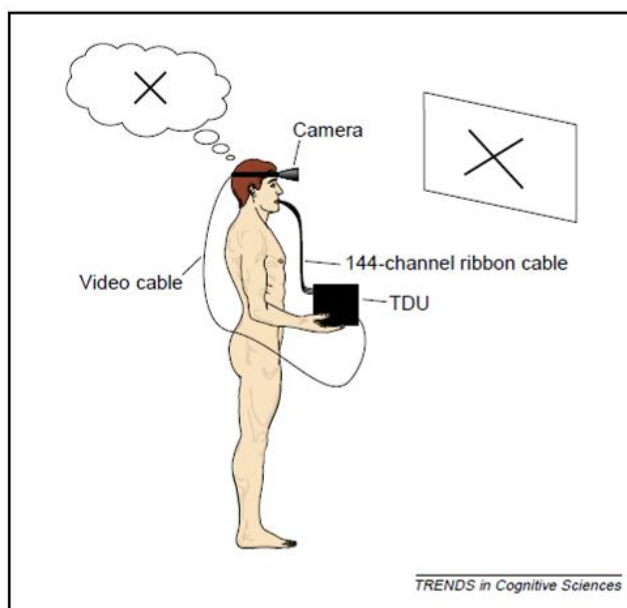
Prvi aparat koji je konstruisao bila je stolica koja je u naslonu imala 400 ugrađenih igala koje su proizvodile vibracije. Taktalne senzacije koje su proizvodile igle omogućavale su ljudima koji su izgubili vid, da u određenoj meri povrate vizuelno iskustvo. Vremenom se sa glomaznog aparata i stimulacije kože na leđima prešlo na sofisticiraniji aparat koji je kao mesto stimulacije koristio jezik (*TDU- Tongue Display Unit*). (slika 3.16)



Slika 3.16 (*Kaczmarek, 2011, str. 1477*)

Na slici 3.17 možemo videti proces taktilno-vizuelne senzorne supstitucije (*TVSS*). Primarni izvor vizuelnih informacija je kamera koja prenosi dešavanja u okruženju. Signali koje proizvodi se prevode u električne signale, koji se zatim prenose na jezik pomoću 144 elektrode (matrica je dimenzija 12x12). Signali se dalje preko nervnih završetaka upućuju ka somatosenzornom korteksu. Pošto je somatosenzorni korteks zadužen za procesiranje taktilnih informacija, električne stimulacije prvobitno izazivaju određena taktilna iskustva poput dodira ili golicanja. Međutim, nakon izvesnog vremena i treninga, informacije dobijene putem *TDU* prouzrokuju kod ispitanika vizuelna iskustva. Ovaj sistem je stvorio nov način na koji su čovek i njegova okolina povezani. Upravo ta nova veza omogućava da slepe osobe putem čula dodira i aktivnostima u somatosenzornom području imaju vizuelno iskustvo.

Osim taktilno-vizuelne supstitucije, moguće su i druge kombinacije, poput taktilno-taktilne, auditivno-vizuelne, itd. Kapele (*Capelle*) je pokazao da auditivni sistem može služiti takođe kao supstitut za vizuelni. Kao i u prethodnom slučaju korišćene su informacije dobijene od kamere koje su zatim pretvarane u zvuk. Sistem je koristio definisani piksel-frekvencijski odnos i na taj način je omogućio mozgu da se statističke pravilnosti vizuelnog sistema prevedu u auditivne. (*Capelle, Trullemans, Arno and Veraart, 1998*)



Slika 3.17 (*Bach-Y-Ritha and Kerckel, 2003, str. 543*)

Iz dosadašnje eksperimentalne evidencije proizilazi da vrsta senzornog iskustva ne mora biti određena tipom senzorne stimulacije ili neuronskom aktivnošću određenog područja mozga. Iskustvo je direktno zavisno od konteksta i predstavlja rezultat odnosa senzorne stimulacije i neuronske aktivnosti, koje se menjaju u odnosu na položaj i kretanje organizma u okruženju. Uloga mozga je u vršenju koordinacije i interakcije sa okolinom. Noe odbacuje Krikovu tvrdnju „ti si tvoj mozak“ i kao metaforu koristi muzički instrument. Premda je mozak od krucijalne važnosti za nastanak svesnog iskustva, ono ne nastaje samo kao posledica delovanja mozga. Kao što muzički instrumenti služe ljudima za stvaranje muzike, ali je ne mogu proizvesti sami, tako i mozak služi za proizvodnju svesti, ali je ne proizvodi sam.

3.4.5. Zaključak

Za razvoj mozga i tela nužan je uticaj okruženja, kako fizičkog tako i socijalnog, a nakon početnog razvoja uticaj se nastavlja u vidu neprekidnog stimulisanja i vršenja perturbacija sistema. „Ne samo da je fizička struktura mozga nerazdvojna od telesnog i sensorimotornog repertoara, već se njegova dinamika i funkcionalne mreže neprekidno moduliraju interakcijama sa okruženjem.“ (*Sporns, 2010, str. 312*) Pristupi koji zastupaju tezu proširene svesti, ukazuju na postojanje veze između tela, mozga i okruženja. Prema njima je svesno iskustvo rezultat procesa koji obuhvata navedena tri domena. Suština ovog objašnjenja se ogleda u rušenju granice „kože i lobanje“ i prelivanju sveta u organizam i organizma u svet. Svest nastaje kao rezultat tog prelivanja.

Simulacije rađene na robotima pokazuju da informaciona cirkularna petlja, koja obuhvata perceptivni sistem, motorički sistem, kao i neposredno okruženje, proizvodi veće količine informacije od petlje koja bi obuhvatala samo perceptivni sistem. Pošto je svest proces koji je usko povezan sa sistemima koji mogu da generišu veliku količinu informacije, navedeni zaključci ukazuju na mogućnost da prošireni sistem (mozak-telo-okruženje) učestvuje u formiranju svesnog iskustva. Različiti eksperimenti na živim organizmima pokazuju koliko je fleksibilan neuronski sistem i koliko je naše subjektivno iskustvo direktno zavisno od konteksta okruženja u kome se organizam nalazi. Eksperimenti na lasicama, sindrom fantomske ruke, fenomen gumene ruke i senzorna supstitucija pokazuju da je sadržaj svesnog iskustva zavisn od sva tri domena: mozga, tela i okruženja.

Informacioni tok koji postoji između trijade mozak-telo-okruženje poboljšava kapacitet informacionog procesiranja, proširuje i oblikuje prostor mogućih stanja sistema. To nam govori da na sistem više ne možemo gledati samo kao na jasno ograničene neuronske strukture već na širu kauzalnu mrežu koja obuhvata mozak, okruženje i ekonišu.

Međutim, i pored toga što je moguće da uparivanje moždanih struktura sa ponašanjem organizma, i neposrednim okruženjem može doprineti boljem informacionom procesiranju, to nam ne otkriva gde se nalazi fizički supstrat svesti. Moguće je da se petljom percepcija-akcije ostvaruje bolje oblikovanje i strukturiranje informacija iz okruženja, koje je na taj način olakšava internim strukturama procesiranje i omogućava sistemu da ima veći kauzalni uticaj unutar sebe. Moguće je da se na taj način potpomažu unutrašnje interakcije ali da sam supstrat svesti bude isključivo unutar granica mozga. Iako sve do sada ukazuje da je svest rezultat globalne moždane dinamike, njen supstrat verovatno obuhvata samo određeni deo moždanih struktura.

Prethodna poglavlja su nam sugerisala da, ne samo da svest ne izlazi van okvira mozga, već nam za svest nisu potrebna sva moždana područja. Kao što smo videli, moguće posedovati svesna iskustva čak iako nam fali cela hemisfera ili cerebelum. Za sada znamo da se svest ne može posedovati bez funkcionisanja delova moždanog stabla (retikularna formacija), talamičkog sistema, kao i većine kortikalnih područja.

Šta nam onda govore primeri poput senzorne supstitucije? Jedan od zaključaka navedenih istraživanja bi mogao da bude da je mozak dinamički sistem koji procesira sve statističke regularnosti, kako one koje dolaze iz okruženja, tako i one koji su posledica komunikacije među kortikalnim područjima unutar njega. Alati poput *TDU* nam omogućavaju da prevedemo statističke regularnosti jednog modaliteta u statističke regularnosti drugog, na taj način obezbeđujući neuronskom sistemu informacije odgovarajuće strukture, koje vrše perturbacije internih stanja sistema na odgovarajući način. Rezultat celokupnog procesa je naše subjektivno iskustvo koje je povezano sa oblikom prostora stanja sistema.

Treba imati na umu da i teoretičari koji podržavaju internalističko objašnjenje svesti prihvataju uticaj okoline na organizam i oblikovanje svesti. Ono što razlikuje ova dva stanovišta je što internalisti ne uzimaju okolinu kao deo svesti. Prema teoriji koju trenutno zastupaju (*III 3.0*) hipotetički je moguće da svest čak i obuhvata deo okruženja, ali to ostaje samo u domenu

teorije, budući da se maksimalna količina integrisane informacije nikada zaista ne proizvodi u sistemu koji bi obuhvatao i ekonišu, već samo u određenim neuronskih strukturama. Ono što nam teorija proširene svesti nije odgovorila jeste koji bi zaista bio fizički supstrat svesti. Gde su ostvarene kauzalne interakcije koje čine supstrat svesti? I kako bismo uopšte definisali svest u kauzalnim okvirima? Na primer videli smo da se u *III* svest definiše kao maksimalna količina integrisane informacije unutar sistema.

Internalističke pretpostavke same po sebi ne odbacuju ulogu okruženja u formiranju svesnog iskustva, pre svega njenu razvojnu ulogu. Kada smo analizirali neuronsku kompleksnost (u drugom poglavlju) smo takođe videli da između neuronskog sistema i okruženja postoji poklapanje kompleksnosti, koje je preduslov da mozak kao adaptivni sistem omogući preživljavanje organizmu. Moždana arhitektura i interakcije su u ogromnoj meri pod uticajem neposrednog okruženja, ali to sve nije dovoljno veliki razlog da se kauzalni supstrat svesti pomeri van granica mozga.

Klark i Čalmers zastupaju tezu proširene kognicije ali smatraju da isti argumenti ne važe i za proširenu svest. Prema njima postoji dosta jaka argumentacija da prošireni kognitivni procesi, poput memorije ili verovanja mogu prevazilaziti okvire „kože i lobanje“, ali da je malo verovatno da to važi i za svest u biološkim organizmima kakvi danas postoje. Klark pretpostavlja da se razlika između proširene svesti i proširenih kognitivnih stanja sastoji u količini i brzini razmenjene informacije. Proširena kognicija se za razliku od svesti ostvaruje preko akcija-percepcija petlje, gde je protok informacija daleko manji nego unutar pojedinih moždanih struktura koje uzrokuju nastanak svesti. „Možda je deo razloga to što fizička osnova svesti zahteva direktan pristup informaciji sa ekstremno visokom protokom. Možda će neki budući prošireni sistem, sa visokom protočnom osetljivošću na informacije iz okruženja, biti u stanju da obavi posao.“ (Clark, 2008, str. xv)

4.

Prevazilaženje slabosti postojećih modela

Hipoteza neprekidne kauzalne samoreference

4.1. Kritika i slabosti dinamičkih modela svesti

Problem sa kojim se suočavaju svi modeli koji objašnjenje svesti zasnivaju na pojmovima dinamičkih sistema poput emergencije, metastabilnosti, kritičnosti, integracije i informacije je u tome što ti pojmovi važe za najrazličitije kompleksne sisteme u prirodi, a samo u određenim biološkim sistema možemo naći svest. Dakle, i pored proširenja pojmovnog okvira pojmovima dinamičkih sistema, vidimo da opis sistema koji poseduje subjektivnost nije potpun i zahteva dodatno objašnjenje.

Za početak je potrebno napraviti razliku između uloge ovih pojmova u opisu funkcionisanja mozga kao kompleksnog fizičkog sistema, u čemu svakako imaju veliki značaj, i njihove uloge u opisivanju subjektivnog iskustva. Tako na primer, fenomenalnu transformaciju (prelazak fizičkog delovanja u mentalno) ne možemo posmatrati na isti način kao tranziciju faza (prelazak iz jednog fizičkog stanja u drugo). Ostaje da se objasni zašto je moguće da kompleksan sistem bude u stanju metastabilnosti, da prođe kroz tranziciju faza, a da ipak ne poseduje svest⁴⁴. Potrebno je razjasniti šta je to što razlikuje svesne od takvih sistema, jer u suprotnom i težak problem i dalje ostaje nerešen.

Svaki od navedenih modela svesti, teorija dinamičkog jezgra, teorija integrisane informacije, teorije polja, teorije proširene svesti, ima svoje prednosti i mane, ali ono što je zajedničko za sve njih je da su se sve one ispostavile kao nepotpune. Ovo ne znači da su intuicije i argumenti navedenih modela u potpunosti pogrešni. Možemo se složiti sa njima da se svesna stanja nalaze u sistemima sa specifičnom arhitekturom i dinamičkom organizacijom, da postoji važna uloga okruženja u stvaranju i održavanju takvog sistema, ali se pojam svesti ne iscrpljuje u potpunosti unutar ovako definisanih dinamičkih teorija. U nastavku ću izložiti detaljnije kritike

⁴⁴ Videli smo da na primer i feromagnetni materijali mogu biti u metastabilnom stanju i proći kroz tranziciju faza.

upućene svakoj od navedenih teorija, a nakon toga ću predstaviti moju tezu i model svesti za koji smatram da je potpuniji od svih do sada prikazanih.

4.2. Problemi teorije integrisane informacije

U okviru predstavljanja *THI* već smo u većoj meri obradili probleme sa kojima se suočava teorija, a sada ćemo te kritike dodatno sumirati i dopuniti kako bismo izneli konačan zaključak o njenoj eksplanatornoj moći. *THI* metodološki dobro pristupa problemu, polazi od fenomenologije, analizira osnovne osobine (aksiome) svesnog iskustva i pokušava da pronađe rešenje u fizičkim mehanizmima koji bi objasnili takve osobine svesti. *THI* nudi kauzalno objašnjenje zasnovano na informacionoj teoriji i oslanja se na hipoteze i eksperimentalnu evidenciju dobijenu iz dinamičkih sistema i statističke fizike. Neki prigovori ciljaju na pojedine predikcije i delove teorije, neki su tehničke prirode pa su usmereni na način na koji se računa integrisana informacija, a jedan deo njih je usmeren na mogućnost objašnjenje svesti korišćenjem pojma informacije. Od svih gorepomenutih prigovora, smatram da je za *THI* najteži prigovor koji se odnosi na osnovniji problem, a to je da je *THI* preširoka i neintuitivna.

Smatram da teorija integrisane informacije doprinosi celokupnoj debati oko prirode svesnog iskustva i da poseduje ideje koje je potrebno uzeti u obzir, ali da je ovako kako je predstavljena neprihvatljiv model, jer prkosi našoj zdravorazumskoj intuiciji. Da bismo dali odgovarajući odgovor na problem svesti, moramo za početak dobro definisati predmet istraživanja. Mislim da bi bilo najtačnije da se držimo zdravorazumskog, svakodnevnog opisa svesti. Serlov opis u najboljoj meri pokazuje kako bi trebalo razumeti svest. „Pod ‘svešču’ ja jednostavno mislim na ona subjektivna stanja ili svesnost koja počinje kada se neko probudi ujutro iz sna u kome nije ništa sanjao i nastavlja se tokom dana sve dok neko ne ode na spavanje ili padne u komu, ili umre, ili drugim rečima postane, kao što bismo rekli, ‘nesvestan’“. (Searle, 1993)

Odbrana *THI* koja bi se pozivala na činjenicu da i kvantna mehanika i teorija relativiteta nisu teorije koje na prvi pogled odgovaraju našoj intuiciji nije zadovoljavajuća. Poređenje koje se pravi nije adekvatno jer kvantna mehanika i teorija relativiteta predstavljaju modele koji do danas najbolje objašnjavaju događaje i osobine fizičkog sveta. Sa druge strane predmet istraživanja je naša svest, nešto što znamo najneposrednije.

4.3. Da li je naučno prihvatljivo svakodnevno shvatanje svesti?

Postoje autori poput Patriše Čerčland (*Patricia Churchland*), Danijela Deneta (*Daniel Dennett*) i Kejt Frankiš (*Keith Frankish*) koji smatraju da mi nismo najviši autoriteti po pitanju znanja naših sopstvenih mentalnih stanja⁴⁵. Prema njima, fenomenalno iskustvo (svest) je teorijska greška koja nastaje usvajanjem dosadašnjih pogleda i pojmova koji se mogu svi zajedno označiti kao „folk psihologija“. Prihvatanje njihovih stavova znači i odbacivanje verodostojnosti fenomenalnog iskustva, kao nečeg što nema potporu u funkcionisanju našeg kognitivnog sistema i ne referiše ni na šta. Ja se neću baviti kritikom svih pretpostavki eliminativizma, već samo onim koji se tiču odbacivanja zdravorazumskog, svakodnevnog poimanja svesti. Za razliku od njih, ja mislim da je moguće na osnovama svakodnevnog zdravorazumskog shvatanja svesti uz unapređenje naučnih teorija i dodatnu eksperimentalnu evidenciju dati potpunije, naučno zasnovano objašnjenje svesti.

Među onima koji dovode u pitanje stvarnost fenomenalnog iskustva je najglasniji Denet. On tvrdi da nasuprot uvreženom mišljenju mi nemamo nepogrešiv uvid u naša mentalna stanja, te da često grešimo u vezi sopstvenih svesnih iskustava. Kao dokaz za svoju tvrdnju on navodi fenomene poput slepila na promenu (*change blindness*) (*O'Regan, Rensink and Clark, 1999*) i slepila usled nedostatka pažnje (*inattentional blindness*) (*Mack and Rock, 1999*). U slučaju fenomena *change blindness* subjekt nije u stanju da primeti promene koje se dešavaju na predmetima i pozadini koje posmatra. Eksperiment se sprovodi tako što se subjektu prikazuje slika u trajanju od par stotina *ms*, nakon čega sledi pauza (prazan ekran) u trajanju od nekoliko desetina *ms* do nekoliko stotina *ms*, a onda mu se ponovo prikazuje slika (isto u trajanju od nekoliko stotina *ms*) koja ovoga puta sadrži određene izmene. Ceo ciklus prikazivanja slika i pauza se ponavlja. Navedeni eksperiment je pokazao da subjekt nije svestan promena koje su se dogodile, bilo na posmatranom predmetu, bilo u okruženju koje je bilo deo posmatrane scene. Subjekt je sve vreme mislio da je ispred njega uvek identična slika. Denet smatra da je ovaj fenomen dokaz da mi ne možemo u potpunosti da se oslonimo na subjektivne doživljaje kao nešto što znamo sa potpunom izvesnošću.

⁴⁵ Ova tvrdnja je poznata pod nazivom eliminativni materijalizam.

Fenomen slepila usled nedostatka pažnje (*inattentional blindness*) se takođe koristi za potvrdu te teze. Mak i Rok (*Mack and Rock, 1999*) su sproveli niz eksperimenata kojima su analizirali ovaj fenomen. Od ispitanika se zahtevalo da se fokusiraju na određeni element koji se nalazio na posebnoj lokaciji unutar vidnog polja. Istovremeno sa elementom na koji su se fokusirali, u drugom delu vidnog polja je prikazivan još jedan element. Dužina trajanja stimulusa drugog elementa je bila 200 ms, što je dovoljno da bude svesno opažen. Zahtev da se pažnja usmeri na jedan element doveo je do pojave „slepila usled nedostatka pažnje“, zbog čega drugi element nije svesno registrovan. Kada su ispitanike pitali da li su приметili element koji nije bio deo njihovog zadatka svi su davali odričan odgovor. U pojedinim istraživanjima nisu primećivani čak ni duži i upečatljiviji stimulusi u trajanju od 700 ms. I pored toga što nisu opaženi, svesno prikriveni stimulusi su aktivirali delove vizuelnog korteksa, što ukazuje da se na nesvesnom nivou paralelno vršila njihova obrada. U situaciji kada ispitanicima nije dat zadatak da se fokusiraju na jedan element, ispitanici bi svesno opazili oba elementa, jer oba elementa imaju adekvatnu dužinu i vizuelne karakteristike. Ovim je pokazano da usmeravanje pažnje u priličnoj meri menja naše svesno iskustvo, kada čak i upadljive prisutne stimuluse ne primećujemo na svesnom nivou. Sličnost sa prethodnim fenomenom se ogleda u tome što osoba nije bila svesna dešavanja iako su ona bila prisutna.

Osim fenomena *change blindness* i *inattentional blindness* tu su i drugi fenomeni poput *hemineglect*, *blindsight*, *backward masking* i Anton-Babinski sindroma koji se mogu iskoristiti kao argument u hipotezi za koju se zalaže Denet. Kod sindroma jednostranog prostornog zanemarivanja (*hemineglect*) lezije na parijetalnim područjima desne hemisfere izazivaju nesposobnost svesnog prepoznavanja stimulusa u levom segmentu vidnog polja, jer su oštećena područja imala funkciju orijentisanja pažnje ka objektima i lokacijama u levom delu vidnog polja. Navedena oštećenja nisu uticala na aktivnost grupa neurona u desnom delu primarnog vizuelnog korteksa. To ukazuje da iako nismo svesni stimulusa, postoji nesvesno procesiranje objekata u levom delu vidnog polja. Zbog problema u dorsalnog toku i nemogućnosti usmeravanja pažnje na levi deo vidnog polja, ti objekti su predmet nesvesnog procesiranja i ostaju van domašaja svesti. (*Treisman and Gelade, 1980*) Kao i u prethodnom slučaju stimulus je prisutan ali ga osoba nije svesna.

Kada je reč o Anton-Babinski sindromu (naziva se i vizuelna anosognosija), on spada u najupadljivije primere izmenjenih stanja svesti. Osobe koje imaju ovaj sindrom poriču da su slepe iako ne mogu da vide. Do slepila dolazi usled lezija u određenim područjima u okcipitalnom režnju. Ono zbog čega je ovaj sindrom izuzetno interesantan jeste činjenica da oni nisu svesni svog slepila. Ukoliko osobu koja ima vizuelnu anosognosiju pitate da li vidi šta se dešava u sobi ispred nje ona će vam potvrdno odgovoriti. Slepe osobe će konfabulacijom i nagađanjem opisivati šta se dešava u okruženju, a kada ih suočite sa činjenicom da to što opisuju nije tačno one će tražiti različite izgovore, poput toga da je mračno u prostoriji. Vizuelna anosognosija se razlikuje od drugih slučajeva slepila po tome što lezije koje je izazivaju sprečavaju neuronski sistem da dobije bilo kakvu informaciju o problemu. Pošto je integracija osnovni princip povezivanja informacija unutar neuronskog sistema, svaka promena i neodostatak u sistemu se nadomešćuje novom integracijom i sintezom. Zbog toga uvek imamo koherentno, jedinstveno iskustvo. (*Prigatano and Schacter, 1991*)

Šta nam govore navedeni eksperimenti? Da li su oni dokaz da mi ne znamo sa sigurnošću svoje sadržaje svesti? Ja smatram da to nije slučaj. Svi dosadašnji primeri pokazuju koliko je promenljiv i rastegljiv opseg svesnog iskustva i koliko je uloga mehanizma pažnje od velikog značaja za oblikovanje sadržaja svesti. Prema teoriji globalnog radnog prostora (*global workspace theory*) mehanizam pažnje ne samo da oblikuje sadržaje svesti, već je od suštinskog značaja za nastanak svesti. Bars, Daen, Nakaš i Šanžo (*Baars, Dehaene, Naccache, Changeux*) smatraju da je pažnja osnovni mehanizam koji omogućava lokalnoj informaciji da bude globalno dostupna, da bude integrisana u veći moždani sistem „globalni radni prostor“. Informacije koje ne uspeju da postanu deo globalnog radnog prostora nalaze se van okvira svesti. (*Baars, 2005*) (*Baars and Gage, 2010*) (*Stanislas Dehaene, Lionel Naccache, 2001*)

Iza svih gorepomenutih fenomena stoji jedinstveni neuronski mehanizam, a to je integracija, do koje dolazi zahvaljujući sinhronizovanoj aktivnosti neuronskih grupa. Određena informacija unutar neuronskog sistema postaje deo svesnog iskustva onoga trenutka kada postane sinhronizovana sa globalno povezanim grupama neurona (gotovo svi se nalaze unutar *ERTAS – Extended Reticular-Thalamic Activating System*). *Change blindness* fenomen nastaje zbog toga što grupe neurona, koje su aktivne prilikom promene u prvobitnoj slici, nisu sinhronizovane sa grupama neurona koje stoje kao fizički korelat našeg svesnog iskustva. Onoga trenutka kada dođe

do sinhronizacije postajemo svesni promena koje su se dogodile. Informacija je sve vreme bila prisutna samo nije bila globalno dostupna, što ju odstranilo iz svesnog iskustva. Slično se dešava i u slučajevima u kojima pokušavamo da otkrijemo kamuflirane elemente na slici.⁴⁶ Neko vreme kamufliran element nam nije svesno dostupan, ali u jednom trenutku on nam se pojavljuje i postajemo ga svesni. Njegovo otkrivanje rezultat je sinhronizacije „nesvesnih neurona“ (neuroni koje je aktivirao kamuflirani element), sa neuronima koji čine „svesni klaster“ (neuronske grupe koje su činile fizičkih korelat svesnog iskustva).

Prema mom mišljenju osnovna greška koju Denet čini jeste što ne povlači razliku između onoga što subjekt svesno vidi i poklapanja njegovog subjektivnog doživljaja sa onim što mu se prikazuje. Argument koji koristi Denet, a koji govori da osoba nije doživela ono što misli da je doživela, nije validan. Na snazi je mešanje između doživljaja i tačnosti doživljaja. A suštinsko pitanje nije da li mi možemo biti obmanuti ili da li možemo imati netačna verovanja, već da li se možemo varati oko onog što subjektivno doživljavamo? Moj stav je da ne možemo. Možemo se varati samo ukoliko poredimo subjektivni doživljaj sa eksternim informacijama dobijenih iz objektivnog sveta. Ali i u tom slučaju mi možemo reći da smo doživeli to što smo doživeli, bez obzira što taj doživljaj nije odgovarao događajima i strukturi iz spoljašnjeg sveta. Sličan stav možemo naći i kod Serla. „Ali kada je u pitanju postojanje svesnih stanja, ne može se napraviti distinkcija između pojave i stvarnosti, zato što je postojanje pojave stvarnost o kojoj govorimo.“ (Searl, 1997, str. 121)

Uzmimo na primer sledeći misaoni eksperiment. Zamislimo situaciju u kojoj ispred sebe vidimo plavu čašu, a zatim 10 sekundi kasnije otkrivamo da je čaša crvena.⁴⁷ Verovatno ćemo pomisliti da smo bili u zabludi tih 10 sekundi i sigurno ćemo se pitati kako to da nismo primetili da je čaša crvene boje. Da li to znači da tokom prvih 10 sekundi nismo bili sigurni u sadržaje naše svesti? Ili uzmimo još radikalniji primer. Zamislimo istu tu situaciju, gde nakon što otkrijemo da je čaša crvena, dolazi do potpunog prepravljavanja sećanja na plavu čašu informacijom da je čaša crvena.

⁴⁶ U odeljku u kome je bilo više reči o neuronskoj integraciji, tačnije pojmu „komunikacije putem koherencije“, detaljnije sam pokazao ulogu sinhronizacija neuronskih grupa u otkrivanju skakavca koji se kamuflirao u okruženju.

⁴⁷ Čaša je objektivno posmatrano zaista crvene boje.

Dok nam u prvom slučaju posle saznanja da je čaša crvena bar ostaje sećanje na iskustvo plave čaše, u drugom slučaju nakon prepravljjanja memorije nećemo uopšte biti svesni da smo ikada imali iskustvo plave čaše.⁴⁸ Pitanje ostaje isto kao i u prvom slučaju: da li to znači da nismo sigurni u sadržaje naše svesti? Činjenica da se 10 sekundi kasnije ne sećamo iskustva plave čaše ne menja činjenicu da smo 10 sekundi ranije to iskustvo imali. Svest postoji samo u sadašnjosti, a njen tok se, iznova i iznova, menja.⁴⁹ „Svesni sadržaj je uvek uvezan u iskustveno ‘sada’...“ (*Thomas Metzinger, 2003, str. 355*) Zbog toga slobodno možemo da kažemo da smo u periodu u kome smo imali svesno iskustvo plave čaše bili svesni tog iskustva sa potpunom izvesnošću. Isto tako 10 sekundi kasnije sa potpunom izvesnošću smo bili svesni iskustva crvene čaše. U oba slučaja govorimo o izvesnosti unutrašnjih mentalnih stanja (kako izgleda imati iskustvo plave ili crvene čaše) a ne njihovim poklapanjem sa činjenicama iz spoljašnjeg sveta.

Ovo ne znači da je svako subjektivno iskustvo uvek jasno i da ga možemo precizno verbalno izraziti. Verovatno se svima nama dogodilo da imamo nejasno definisana subjektivna iskustva, ali to ne znači da se varamo po pitanju sadržaja sopstvene svesti, već da je taj sadržaj sam po sebi nejasan. Neko, na primer, zbog uticaja alkohola ili lekova ne može precizno da artikulise misli, ima nejasnu predstavu o okruženju i otežanu sposobnost govora. Čak i u takvoj situaciji taj neko se neće varati po pitanju svojih subjektivnih iskustava. Naš subjektivni doživljaj je takav kakav je i on ne može biti pogrešan. Pogrešan može biti samo ako posmatramo istinitost subjektivnog iskaza poredeći ga sa činjenicama iz spoljašnjeg sveta.

⁴⁸ Osobe koje pate od Alchajmerove bolesti prolaze kroz sličnu situaciju. Doduše, njima se memorijske strukture ne zamenjuju nekim drugim iskustvima već vremenom degradiraju i nestaju. Ali i u njihovom slučaju možemo postaviti pitanje da li su one sigurne u svoja iskustva? Na primer, kada vide nepoznatu osobu koja im se obraća a koja je u stvari njihov sin. Čak i u tim situacijama možemo smatrati da su one sigurne u svoje trenutno iskustvo. To što je nepoznata osoba njihov sin nema veze sa njihovim trenutnim doživljajem te osobe, već isključivo sa činjeničkim stanjem iz spoljašnjeg sveta.

⁴⁹ Izvesnost subjektivnog iskustva se isključivo odnosi na iskustva u sadašnjosti, a ne na razmišljanja ili bilo kakav odnos sa iskustvima u prošlosti. Kada razmišljamo o iskustvima iz prošlosti mi možemo izraziti sumnju ili ih čak opovrgnuti iz ugla trenutnog iskustva. Možemo reći: „Mislio sam da sam čuo tri otkucaja časovnika, ali kada bolje razmislim bila su dva“. To može delovati kao pokazatelj da ipak nismo sigurni u sadržaje sopstvene svesti. Ali, pošto se sigurnost u sadržaje svesti vezuje isključivo za sadašnjost, takva tvrdnja ne može ništa da kaže o našoj sigurnosti u iskustvo u trenutku iz prošlosti kada smo čuli tri otkucaja. U sadašnjem trenutku mi možemo imati samo sigurnost u trenutno iskustvo da smo čuli dva otkucaja časovnika umesto tri.

Zbog svega do sada navedenog zastupam stav prema kome je zdravorazumsko poimanje svesti relevantno i značajno za istraživanje problema svesti. Prigovori koje zastupaju Denet, Čerčland i Frankiš, a koji se tiču znanja sopstvenog iskustva, nisu dovoljno jaki da odbacimo paradigmatične slučajeve svesnih iskustava kao osnov za razvoj i proveravanje hipoteza nauke o svesti. Kada govorim o prihvatanju intuicije po pitanju verovanja i neposrednog znanja sadržaja svesti, ja govorim o potrebi za prihvatanjem svekodnevnih, uobičajenih slučajeva poput budnosti, slučajeva u kojima ostajemo bez svesti kao na primer tokom dubokog sna ili totalne anestezije. Oslanjanje na zdravorazumsko poimanje svesti je od velike važnosti za testiranje postavljenih hipoteza. Ukoliko paradigmatične slučajeve svesnih i nesvesnih stanja proglasimo za problematične možemo doći u situaciju u kojoj je moguće formulisati najrazličitije hipoteze, koje su u okviru sopstvene teorije konzistentne ali ih nemamo čime proveriti.

U skladu sa prethodno izloženim modelom koji bi bio u suprotnosti sa našom intuicijom o prirodi svesti ni u kom pogledu ne možemo smatrati adekvatnim. Zbog toga bi prihvatanje *TH* kao potpunog modela svesti povlačilo sa sobom i redefinisane značenja pojma svesti, a to je prema mom mišljenju neprihvatljivo. Međutim, isto tako smatram da i pored toga što *TH* nije zadovoljavajuća teorija, ona predstavlja jedinstveni i osvežavajući pristup rešavanju problema svesti, koji pomera fokus sa svojstava fizičkih elemenata (sredstava) i ističe značaj procesa, relacija između gradivnih elemenata fizičkog sveta.

Uopšteno govoreći, teorije koje izjednačavaju svest sa informacijom se suočavaju sa dva izbora. Ili je svaki sistem koji može da procesira informacije svestan, ili samo određena vrsta informacije predstavlja svest. Čalmers postavlja dve alternative: 1) Možda su svesne samo određene vrste fizički realizovanih informacionih prostora. 2) Možda su termostati svesni. (*Chalmers, 1996*)

Videli smo da zastupnici teorije integrisane informacije zastupaju drugu opciju. *TH* na poseban način definiše svest, kao integrisanu informaciju ili još preciznije kao kapacitet sistema da integriše informacije. Ali čak i tako definisana svest ostavlja mogućnost da sistemima, poput fotodiode pripisujemo svest. Prema *TH* sredstvo (fizička realizacija) preko koga se vrši integracija informacije ne pravi razliku u tome da li će sistem biti svestan ili ne. Ono što pravi razliku jeste sposobnost sistema da integriše informaciju. „Sledi da bilo koji fizički sistem ima

subjektivno iskustvo u meri u kojoj je sposoban da integriše informacije, bez obzira od čega je napravljen.“ (Tononi, 2004) To je veoma blizu drugoj opciji koju prihvata i sam Čalmers, prema kojoj su i termostati svesni. Osnovna razlika je u tome što Tononi izjednačava svest sa sposobnošću sistema da integriše informacije unutar sebe. Iako *III* ne pripisuje svest svim sistemima, ovakva definicija je i dalje previše široka.

Takvo tumačenje svesti se kosi sa našim svakodnevnim, zdravorazumskim poimanjem svesti. I pored toga što se i neke fizičke teorije poput kvantne mehanike kose sa našim svakodnevnim shvatanjima, smatram da ne možemo prihvatiti teoriju svesti koja bi se kosila sa onim što u svakodnevnom govoru uzimamo za svest. Pošto se svako od nas susreo mnogo puta sa stanjem bez svesti, poput onoga kada smo u dubokom snu, direktna evidencija nam sugerije da neuronski sistem i pored toga što procesira informacije i ima kapacitet za diskriminaciju stimulusa, ne proizvodi subjektivno fenomenalno iskustvo. To nam govori da ne možemo izabrati drugu opciju prema kojoj se svest pripisuje svim sistemima koji imaju sposobnost diskriminacije ili integracije informacije (termostati, fotodiode, itd.). Nešto što znamo sa najvećim stepenom izvesnosti mora biti ključan faktor u procenjivanju teorije.

Jedno od rešenja informacionih teorija svesti jeste da svest povežu sa posebnom vrstom intrinzične informacije. Kao što smo mogli da vidimo, Mekkaden izjednačava svest sa posebnom vrstom informacije. Za razliku od šenonovskog vida informacije, Mekkaden izjednačava *SEMI* (svesnu elektromagnetnu informaciju) sa svesnim iskustvom. Takva informacija je „upisana“ u celokupno elektromagnetno polje, njegovu konfiguraciju i predstavlja intrinzičnu informaciju polja. Takva informacija, za razliku od ekstrinzične (šenonovske) informacije, nije arbitrarna i zavisna je u potpunosti od elektromagnetnog polja unutar mozga. Ona predstavlja „geštalt“ svojstvo elektromagnetnog polja.

Videli smo da i *III* pokušava da integrisanu informaciju predstavi kao nearbitrarnu, nezavisnu od spoljašnjeg posmatrača, gde bi takva informacija predstavljala odnos sistema prema samom sebi. Ovakav pristup su zastupali i Edelman i Tononi. (Edelman and Tononi, 2000) Integrisana informacija se definiše kao „razlika koja pravi razliku“ iz ugla samog sistema. Osnovni problem takvog određenja informacije nije u definiciji same informacije, mada neki i to

dovode u pitanje⁵⁰, (*Pockett, 2014*) već u arbitrarnom izboru elemenata, i strukture u odnosu na koju se vrši kalkulacija. Kalkulacije kakve sprovodi *III* se odnose na diskretne sisteme, a pošto biološki sistem nije u potpunosti diskretan, a ni svesno iskustvo nije diskretno, glavna zamerka takvom proračunu je arbitrarni izbor osnovnih elemenata na osnovu kojih se vrše kalkulacije.

Baret ima pristup koji na neki način spaja ideje iz teorije polja (Mekfaden) i teorije integrisane informacije. On izjednačava svest sa količinom integrisane informacije polja. Na taj način prevazilazi određene probleme koji se nalaze ispred *III*, a koji se tiču primenljivosti *III* isključivo na diskretne sisteme. Iako Baretova ideja omogućava primenu *III* na kontinuirane sisteme, ispred nje stoje isti prigovori koji stoje i ispred drugih teorija koji svest izjednačavaju sa nekim vidom informacije. Procesiranje i integracija informacija možda jeste nužan uslov, ali nam ništa ne sugeriše da je i dovoljan uslov za svest. Do sada ni jedna teorija nije uspjela na dovoljno ubedljiv način da pokaže da se koristeći pojam informacije može objasniti svest.

Zbog toga je veoma važno naznačiti šta se podrazumeva pod pojmom informacije. Pojam informacije je problematičan jer ima već uspostavljeno značenje. Neki od kritičara poput Serla ili Poketove (*Pockett, 2014*), smatraju da teoretičari „procesa“⁵¹ informaciju tumače drugačije od većine. „Prvo, budući da svi osim teoretičara procesa eksplicitno definišu informaciju kao objektivan entitet, nije jasno kako teoretičari procesa mogu osnovano tvrditi da je informacija generalno, ili bilo koji podskup ili raznovrsnost informacije posebno, subjektivna. Ni jedan entitet ne može logički biti i istovremeno nezavisan od duha i sama suština duha. Stoga, kada teoretičari procesa koriste reč ‘informacija’ oni moraju govoriti o nečemu sasvim drugačijem od onoga što svi drugi misle pod tom rečju. Potrebno je razjašnjenje o čemu tačno oni to govore“ (*Pockett, 2014, str.2*)

⁵⁰ Prema Poket informacija se do sada uvek posmatrala kao objektivna „entitet nezavisan od duha“ (*Pockett, 2014, str.2*) i ne može se ni na koji način povezati sa fenomenalnim ili subjektivni aspektom, kao što teoretičari poput Čalmersa i Tononija smatraju.

⁵¹ Atkinson, Tomas i Kleremans smatraju da se savremeni pristupi svesti mogu podeliti na dva pravca: teoretičare procesa (*process*) i teoretičare sredstava (*vehicles*). Prvi pristup zastupaju svi oni koji smatraju da je svest identična sa relacionim svojstvima, kompjutacijama u kojima učestvuju elementi (sredstva). Drugi pristup zastupaju oni koji smatraju da sredstva (materijalni elementi) i njihova intrinzična svojstva stvaraju i određuju svesno iskustvo. (*Atkinson, Thomas and Cleeremans, 2000*)

Savremeni teoretičari procesa ne vide nikakav problem u redefinisaju pojma informacije. Oni bez ikakvog problema mogu i da prihvate navedene prigovore i da kažu da pojam i mera o kojoj oni govore nije isti kao onaj o kome govore kritičari. Pa tako oni umesto informacije mogu koristiti pojam pseudo informacije. Takav zahvat bi napravio dodatno razjašnjenje po pitanju značenje pojma informacije ali suštinski ne bi promenilo ništa po pitanju uverljivosti i istinitosti teorije. U teorijama procesa informaciju treba posmatrati kao meru kauzalnog uticaja. Takva mera kazaliteta pokazuje koliko pojedini događaji smanjuju neizvesnost unutar sistema, koliko nam neki događaj govori o prošlim i budućim stanjima celokupnog sistema. Informacija u teorijama procesa ne označava nešto apstraktno što svoje značenje ima tek u očima posmatrača, već fizičku meru koja pokazuje koliki je kauzalni uticaj unutar sistema.

Savremeni teoretičari procesa, poput Tononija, Mekfadena, Bareta ne žele da informaciju otrgnu od fizičkih entiteta koji je realizuju. Sva navedena istraživanja pokazuju da stanje svesti unutar mozga prati intenzivna masovna kauzalna razmena između povezanih elemenata. Zastupnici teorije procesa koriste pojam informacije kako bi opisali i odredili tu kauzalnost. Ono što informacija uspeva da uhvati jeste ono što je neuhvatljivo pojedinačnim entitetima, a to je odnos između njih. Ovo je osnovni razlog zašto su informaciju odabrali za glavni pojam kojim se objašnjava svest. Međutim, kao što sam već više puta naznačio, nijedna teorija nije uspela korišćenjem pojma informacije da pruži dovoljno ubedljive argumente koji bi objasnili pojam svesti, u onom smislu u kome ga mi svakodnevno koristimo.

Sa jedne strane *TII* je možda najbolje i najpreciznije formulisana teorija svesti do sada. Zasnovana je na jasnom kalkulusu i predikcijama koje proizilaze iz njega. Ali sa druge strane, teorija mnogima (*Block, Aaronson, Searl, Pockett*) deluje neprihvatljivo jer smatraju da je redefinisala pojam svesti, odnosno da je promenila značenje predmeta istraživanja. Sama po sebi teorija nema nedoslednosti, ali deluje kao da objašnjava nešto što mi ne bismo nazvali svesnim iskustvom. Prema *TII* moguće je da su fotodiode svesne, da su *low density parity check* kodovi svesni, u nekim okolnostima možemo zamisliti da enterični sistem (sistem od nekoliko stotina miliona neurona unutar creva) može biti svestan. To i ne bi bio toliki problem za teoriju da je moguće proveriti istinitost tih predikcija. Nemogućnost provere proizilazi iz toga što je perspektiva prvog lica zaključana za nas, ali takođe hipotezu ne možemo proveriti ni bihejvijoralnim putem, jer ne postoji ništa u ponašanju fotodiode ili *low density parity check*

kodova što bi nam pokazalo da postoji i najmanja naznaka svesti. Prema Poket ovo je jedan od razloga zbog kojih *TII* (i drugim teorijama procesa - *McFadden, Barret*) možemo uputiti „nenaučnost“ kao prigovor.

4.4. Kritika teze proširene svesti

Prihvatanje teze da svest ima intrinzično relacioni karakter i da se može opisati preko kauzalnih odnosa unutar kompleksnog sistema, i dalje ne zatvara pitanje o prostornovremenskim okvirima u kojima se ti kauzalni odnosi realizuju. Zastupnici teorije proširene svesti smatraju da se svest ne može ograničiti na okvire neuronskog sistema ili, još šire gledano, granica organizma. Pošto je neuronski sistem otvoren dinamički sistem, sistem van stanja ekvilibrijuma, na njegovu kauzalnu strukturu aktivno deluje i okruženje. Perturbacije mikro strukture se vrše neprekidno i zato je u potpunosti relevantna hipoteza koju postavljaju inaktivisti, da se svest ne može ograničiti isključivo na dešavanja u mozgu i da njen supstrat prevazilazi kauzalne odnose unutar mozga. (*Thompson, 2007*) (*Chiel and Beer, 1997*) Kemberl ističe da su biološki sistemi otvoreni sistemi koji se nalaze u stanju daleko od ekvilibrijuma i u njihovom samoodržanju nužno učestvuje i okruženje. (*Campbell, 2009*) Bez dvostrukog uticaja, okruženja kao spoljašnjeg faktora i relacija unutar granica organizma, samoodržavanje je nemoguće.

Postoje jake indikacije, dobijene empirijskim putem, da se okruženje može smatrati za nešto više od graničnih uslova po pitanju proširene kognicije. Međutim, to ne važi i po pitanju proširene svesti. Kao što smo videli, i sam Endi Klark (*Andy Clark*), jedan od najvećih zastupnika teze proširene kognicije, tvrdi da kognicija (pažnja, memorija, donošenje odluka, prepoznavanje objekata, procesiranje, itd.) prevazilazi okvire mozga, ali je za svest potrebna mnogo veća i brža razmena informacija koja se ostvaruje jedino kroz brze rekurzivne kauzalne interakcije unutar samog mozga. (*Clark, 2008*) U principu i *TII* ostavlja teoretsku mogućnost za svest koja bi prevazilazila granice „kože i lobanje“. Kao što smo videli, *TII* tvrdi da kauzalna konfiguracija koja ima najveću kauzalnu moć predstavlja svest.⁵² Takva struktura najčešće obuhvata pojedine delove mozga, ali nije nemoguće da u nekim posebnim okolnostima obuhvati veći deo nervnog sistema ili čak neposrednog okruženje izvan tela. Da li će se to dogoditi je stvar dinamičkih procesa unutar i izvan sistema, koji umnogome zavise od organizacije i arhitekture sistema.

⁵² Da se podsetimo, u teoriji integrisane informacije se takva konfiguracija naziva „maksimalno nesvodiva konceptualna struktura“. (*Tononi, Albantakis, Hoel, 2013*)

Glavni razlog zbog koga se najveća kauzalna interakcija i razmena informacija ostvaruje samo u pojedinim oblastima mozga je organizacija neuronskog sistema i dinamika koja vlada u njemu.

Na teorijskom nivou neko može uzeti teoriju integrisane informacije za podršku teze proširene svesti i to ne samo u okvirima bioloških sistema, već i u drugim realizacijskim bazama. Kao što smo mogli da vidimo, *III* svest i njene osnovne fenomenalne osobine objašnjava kroz strukturalni opis koji je u potpunosti nezavisan od realizacijske baze. Oni svest definišu kroz matematički model kauzalnih interakcija (integrisane informacije). Iz ugla teorije potpuno je nevažno u kakvoj realizacijskoj bazi se vrši integracija informacija, sve dok do nje dolazi. Baza može biti hemijska, električna, biohemijska ili bilo koja druga vrsta kauzalnih interakcija unutar materije. Takođe, oni u principu ne odbacuju mogućnost postojanja proširene svesti, ali smatraju da je prosto empirijski slučaj da je svest ograničena na određene delove mozga. Teorijski je moguće da se maksimalna količina integrisane informacije vrši u prostornovremenskim okvirima koji prevazilaze granice tela. U tom slučaju svest bi obuhvatala prostornovremenske regione koji obuhvataju mozak, telo i okruženje. Ali kao što sam već pomenuo, moždana i neuronska organizacija su takve da maksimalnu količinu integrisane informacije ograničavaju na mozak.

Prema mom mišljenju ne postoje dovoljno jaki teorijski argumenti niti eksperimentalna evidencija koja bi podržala ideju proširene svesti. Ono što se ne dovodi u pitanje je činjenica da je za razvoj svesti neophodna interakcija sa okruženjem, ali ono što se dovodi u pitanje je pretpostavka da se kauzalna struktura koja predstavlja fizički korelat svesti realizuje van neuronskog sistema. Pošto sve ukazuje da takve strukture nisu ostvarene u okviru trijade mozak-telo-okruženje, ja ću podržavati tezu prema kojoj fizičke korelate svesti treba tražiti unutar dela neuronskog sistema, koji se okvirno može ograničiti na retikularni i talamokortikalni sistem. (*Baars, 1988*) (*Edelman and Tononi, 2000*). Prilikom predstavljanja moje hipoteze biće detaljnije objašnjeno zašto van neuronskog sistema ne postoje mehanizmi kojima se može proizvesti svest.

4.5. Kritika teorija sredstava (posebnih obrazaca *EM* polja)

Pored teorija koje smatraju da se svest može objasniti preko pojma informacije, tu su i neurobiološke teorije koje ne izjednačavaju svest sa informacijom, odnosno ne smatraju da je relacionala priroda suštinska karakteristika svesti. Takve teorije svest izjednačavaju sa određenim fizičkim supstratom i u njih spadaju svi modeli koji su pokušali da pronađu direktan korelat

svesti, poput modela koji su krajem dvadesetog (*Crick and Koch 1990*) i početkom dvadeset prvog veka zastupali Krik i Koh (*Crick and Koch, 2005*). Osim njih postoje i dinamički modeli koji svest izjednačavaju sa fizičkim korelatom, koji prevazilazi pojedinačne elemente sistema, odnosno njegove delove. Takav model zastupa Suzan Poket (*Pockett, 2012*). Kao što smo videli, ona svest izjednačava sa posebnim obrascima elektromagnetnog polja unutar korteksa.

Ovo stanovište ne uspeva da na dovoljno uverljiv način objasni vezu između svesti i posebnog obrasca *EM* polja. Osim empirijske evidencije, koja ukazuje na korelaciju između pojave svesti i pojave posebnih obrazaca *EM* polja, ne vidim dovoljno jaku vezu između pomenutih obrazaca i subjektivnosti, perspektive prvog lica. Zašto bi bilo koji obrazac *EM* polja stvarao subjektivno iskustvo? A postavlja se pitanje i zašto baš ovakav obrazac?

Osnovni problem modela koji Poket predlaže je nepostojanje dovoljno jakih argumenata kojim bi se pokazao identitet između polja i iskustva. Korelacija posebnog oblika *EM* polja i svesti ne ukazuje da je svest identična sa takvim oblikom polja. Moguće je da je poseban oblik *EM* polja nužan ali ne i dovoljan uslov za svest. Osim toga, moguće je da poseban oblik *EM* polja uvek ide kao spoljašnja manifestacija nekog stvarnog korelata svesti (na primer informacije koja se integriše unutar tog polja, ili da je svest identična sa neuronskom aktivnošću na nivou individualnih neurona koji to polje proizvode).

Najvažniji prigovor hipotezi koju predlaže Poket je njena nemogućnost prevazilaženja teškog problema, jer je u potpunosti zasnovana na materiji i njenom svojstvu, pa sa punim pravom možemo postaviti pitanje kako iz nečeg u potpunosti materijalnog može da nastane mentalno? Poper je bio svestan toga, pa je pored fizičkog *EM* polja uveo pojam „polje mentalne snage“, kao posebnu vrstu „mentalnog polja“ koje bi nam pružila mogućnost objašnjenja fenomenalnog iskustva. Popperova teza se suočava sa drugim prigovorima koje sam već prethodno obrazložio i zato ih sada neću pominjati. To je jedan od razloga zbog kojih prihvatam pravac prema kojoj je objašnjenje svesti treba tražiti u procesu (relacijama) a ne u realizacijskoj bazi.

Osim ovih postoje i drugi prigovori koji su upućeni Poket a tiču se objašnjenja osobina svesnog iskustva. Džons (*Jones, 2013*) iznosi nekoliko argumenata koji ukazuju na nepotpunost njenog modela. Oštrica kritike je usmerena na to što teorija koju ona predlaže ne objašnjava na odgovarajući način određene karakteristike svesnog iskustva. „Međutim, nejasno je kako se boje i oblici povezuju zajedno u njihovim odgovarajućim lokacijama u slikama i zbog čega polja koja se prožimaju širom sveta ne čine da svi imamo telepatske sposobnosti.“ (*Jones, 2013, str. 127*)

Kritika koju navodi Džons pogađa svaku teoriju koja predlaže globalno *EM* polje kao fizički korelat svesti, a odnosi si se na problem objašnjenja kako pojedinačna slikovita iskustva (*pictorial images*) mogu biti identična sa neslikovitim obrascima *EM* polja. Drugi deo kritike vezan za telepatske sposobnosti se može lakše braniti (ali ne i potpuno otkloniti) ukazivanjem na nedovoljnu jačinu *EM* polja van oblasti glave.

Pozivanje na *EM* polje, s obzirom na njegovu karakteristiku, u određenoj meri otupljuje oštricu prigovora fizikalizmu, ali to ne uspeva u potpunosti. Čini nam se da Poketova svoju hipotezu nije uspela na najbolji način da poveže sa nekim od fundamentalnih svojstava svesti, što bi joj pružilo dovoljno jake osnove da pravi vezu između *EM* polja i svesti. Osim toga, posebna trodimenzionalna konfiguracija *EM* polja može biti nužan, ali ne i dovoljan uslov za svest.

4.6. Rešenje – hipoteza neprekidne kauzalne samoreference (HNKS)

Smatram da su za prevazilaženje teškog problema u okviru materijalizma moguća dva rešenja. Prvo predstavlja prihvatanje panpsihizma koji se oslanja na Raselovo zapažanje prema kome mi nemamo mogućnost da pristupimo intrinzičnim svojstvima materije, već samo relacionim. Na ovaj način se ostavlja prostor za postojanje iskustvenih, svesnih svojstava na fundamentalnim nivoima stvarnosti. To naravno ne znači da, kao što bi neki od kritičara sa podsmehom rekli, elektroni ili kvarkovi prolaze kroz egzistencijalnu krizu, već da materijalna stvarnost u svojim intrinzičnim svojstvima ima potencijal za stvaranje kompleksnih iskustvenih fenomena, ljudske svesti. Panpsihizam podrazumeva da se na najnižim nivoima stvarnosti nalaze „semena“ svesti. Gradivni elementi iskustva se postavljaju u materijalnu osnovu sveta čime se prevazilaze težak problem i eksplanatorni jaz. Prihvatajući panpsihizam ostali bismo u okviru monizma, ali bismo proširili trenutni skup fundamentalnih osobina fizičkog sveta. Panpsihizam je jednostavno rešenje, ali je ujedno i ćorsokak jer nam ne nudi način na koji možemo istraživati takva intrinzična svojstva. Ona su nam po svojoj prirodi nepristupačna. Iskustvena stanja materijalnog sveta su u potpunosti intrinzična, zaključana za spoljašnjeg posmatrača i kao takva se ne mogu ni meriti ni analizirati.

Sa druge strane svako fizikalističko objašnjenje koje ne pretpostavlja panpsihizam se suočava sa eksplanatornim jazom i zahtevom da se subjektivno iskustvo objasni pojmovima i teorijama objektivnog fizičkog sveta. Najveći izazov ispred ovakve vrste fizikalističkog rešenja jeste objašnjenje kako materijalna stvarnost može da stvori perspektivu prvog lica. Videli smo da

mnoge teorije procesa, među kojima se posebno ističe *THI*, pokušavaju je da pokažu kako su kauzalni odnosi i relaciona konfiguracija unutar fizičkog sveta identični sa svešću. Međutim, dosadašnja rešenja koja se zasnivaju na pojmu informacije nisu zadovoljavajuća, pre svega jer se kose sa našim zdravorazumskim, svakodnevnim, shvatanjem svesti.

Naše svakodnevno razumevanje svesti, bez obzira što ga neki poput Čerčlandove i Denata (*Churchland, 2002*) (*Dennett, 1992*) smatraju za naivno shvatanje koje proizilazi iz „folk“ psihologije, od presudne je važnosti za objašnjenje svesti, jer svakom od nas pruža priliku da testira hipotezu, i svako od nas dobro poznaje osnovni predmet istraživanja. Glavno pitanje za sve informacione teorije bi glasilo, zašto za neku količinu razmenjene ili integrisane informacije, koja postoji unutar mozga, imamo subjektivno iskustvo, a za neko drugo nemamo? Linearno povećanje svesti sa povećanjem broja bitova informacije u sistemu nije zadovoljavajuće rešenje.

Teza koju ja ovde zastupam takođe počiva na pretpostavci da ključ za objašnjenje subjektivnog karaktera svesti leži u objašnjenju relacionih kauzalnih odnosa u neuronskom sistemu. Sva dosadašnja eksperimentalna evidencija ukazuje da svest prati posebna vrsta kauzalnog delovanja između elemenata kompleksnog sistema. Videli smo da se svest proizvodi samo u onim sistemima unutar kojih vlada kritična dinamika i ostvaruje se posebna konfiguracija kauzalnih odnosa. Dosadašnje teorije nisu uspele da pokažu da kauzalni odnosi i relacije unutar sistema predstavljaju više od korelacije sa svesnim iskustvom. Potrebno je pronaći argument koji bi na ubedljiviji način pokazao da svest suštinski ima relacionu prirodu.

Dinamički informacioni model svesti koji zastupam se oslanja na dosadašnje dinamičke modele svesti ali u sebi sadrži važnu dopunu koja se tiče razjašnjenja najvažnije osobine svesti, a to je mogućnost subjektivnosti materijalnih sistema. Sam pojam subjektivnosti (kako izgleda biti) je potrebno posmatrati kroz prizmu perspektive prvog lica. Pokušaj *THI* da da odgovor na perspektivu prvog lica kroz kauzalne interakcije doveo je do neprihvatljivog rešenja koje se oslanja na integraciju informacija. Takvo rešenje je preširoko jer u domen svesnih entiteta uključuje i one entitete za koje mi u svakodnevnom životu smatramo da su nesvesni, te je stoga na isto pitanje potrebno pronaći drugačije rešenje. Sada ću izložiti dve najvažnije pretpostavke na kojima se zasniva model svesti koji nudim kao alternativu do sada predstavljenim modelima.

Prva pretpostavka je da je svest emergentno svojstvo nastalo kroz kauzalni proces. To ne može biti bilo kakav kauzalni proces već samo onaj koji će nam omogućiti da razlikujemo svesne od nesvesnih stanja živih bića. Takvo svojstvo se može ostvariti, a proces dogoditi, samo u kompleksnim materijalnim sistemima. Ono šta nazivamo svešću u svakodnevnom govoru pripisujemo isključivo višim biološkim oblicima života. Ne samo da se svest može ograničiti na takve organizme, već se ona njima pripisuje samo u određenim stanjima u kojima se nalaze. To se pre svega odnosi na stanje budnosti i na *REM* fazu sna. U takvim stanjima, što je nedvosmisleno eksperimentalno potvrđeno, dolazi do povećane interakcije (integracije aktivnosti), različitih moždanih područja. Interakcija okvirno obuhvata period od nekoliko stotina milisekundi (*500 ms – Libet, 2004*). Vremenski interval potreban za nastanak svesti nas upućuje na to da svest ne pripada nekom posebnom trenutku već da pripada celom procesu. Unutar tog vremenskog intervala skup kauzalnih interakcija proizvodi globalno svojstvo koje možemo posmatrati samo kao celinu i koje se ukoliko pokušamo da ga rasparčamo u potpunosti gubi. Kada budemo razumeli i objasnili šta se događa unutar celog tog procesa, moći ćemo da objasnimo svest.

Druga pretpostavka je da je sama svest suštinski relacionala. U okviru monističkih pretpostavki ovo je alternativa panpsihizmu, postuliranju svesnosti u fundamentalne osnove materijalnog sveta. Prema mom mišljenju pretpostavka da je suštinski svest relacionala nam pruža mogućnost da objasnimo kako ona može biti deo materijalnog sveta, rezultat interakcija unutar njega, a da istovremeno ima svoj jedinstveni subjektivni karakter. Glavna osobina subjektivne perspektive je njena usmerenost (intencionalnost). Iako postoje neka mentalna stanja, poput raspoloženja, koja na prvi pogled ne deluju kao usmerena, svako iskustvo je samom sebi predmet na koji je usmeren. Subjektivna perspektiva je samoreferišuća. Njena krucijalna osobina nije usmerenost na spoljašnji objekat, već na samu sebe.

Subjektivna perspektiva i samoreferencijalnost ne povlače postojanje nekog postuliranog nepromenjivog subjekta koji bi bio „homunkulus“. Ne postoji homunkulus jer ne pretpostavljam postojanje centralnog mesta, nekog posebnog entiteta ili posmatrača. Takođe, prema mojoj hipotezi ne postoji neki nepromenjivi subjekt, postulirani entitet, koji postoji nezavisno od sistema i dinamičkog procesa, već je subjektivnost karakteristika neuronskog sistema, koja dolazi kroz proces. Ono što održava jezgro sopstva jeste sama integracija i primarna osobina sistema,

tendencija za koherencijom. „Takva spontana organizacija obrazaca je baš ono što mi mislimo pod samoorganizacijom: sistem organizuje sebe, ali ne postoji ‘sopstvo’, nikakav delatnik unutar sistema koji sprovodi organizaciju.” (Clark, 1997, str. 107) To je u potpunosti vidljivo u slučajevima vizuelne anosognosije ili pacijenata u odmakloj fazi Alchajmerove bolesti. U tim slučajevima identitet subjekta („sopstvo“) je u potpunosti izmenjen ali on i dalje neometano funkcioniše jer ne postoji neka nepromenljiva esencija koja bi promenama bila ugrožena.

Želim da naglasim da pod bazičnim sopstvom ne podrazumevam subjekta koji je svestan sebe kao mislećeg bića, ili delatnika (što je karakteristika višeg oblika svesnog iskustva - samosvesti), već na bazičnu fenomenološku prisutnost subjekta. Različiti autori koriste drugačije izraze kako bi označili bazično sopstvo. Tako na primer Damasio koristi izraz „jezgro sopstva“ (Damasio, 2000), Edelman takvo sopstvo povezuje sa „primarnom svešću“ (Edelman, 2004), a Metzinger upotrebljava pojam „fenomenalno sopstvo“ (Metzinger, 2003). „Fenomenalno sopstvo je ono šta nas čini iskustvenim subjektima.” „Fenomenalno sopstvo je konstituisano pre pažnje, automatski na najbazičnijem nivou.” (Metzinger, 2004, str. 158)

Takvu bazičnu fenomenološku prisutnost možemo naći ne samo u stanju budnosti, već i u stanju REM faze sna. „Ključna ideja je da je čak i najjednostavnija forma sanjanja karakterisana fenomenalnim sopstvom, ili iskustvom postojanja ili posedovanja sopstva, prelazak iz sanjanja u iskustvo sna bez snova se dešava kada je i minimalni oblik fenomenalnog sopstva izgubljen.“ (Metzinger, 2019, str. 34) Poput prethodno izloženih teorija i ja takođe pokušavam da objasnim fenomenalni karakter iskustva. Polazeći od osobine samog iskustva pokušavam da pronađem dinamičke mehanizme koji bi objasnili tu suštinsku osobinu svesti. Samoreferencijalnost se odnosi na činjenicu da je svest u potpunosti zatvorena u svom domenu, bez obzira o kakvom iskustvu je reč (npr. opažanje pojedinačnog objekta ili neko mentalno stanje poput ushićenja).

Kada govorim o usmerenosti svesti na samu sebe govorim o zaključanosti svesnog iskustva. Dakle, ako imamo svesno iskustvo nužno smo zaključani unutar njega. Svest je uvek usmerena na sopstveni sadržaj ma kakav on bio. „...fenomenalni sadržaj je ono što ostaje isto bez obzira da li je nešto reprezentacija ili pogrešna reprezentacija.“ (Metzinger, 2004, str. 16) „Očigledno da stvorenje ne može da prođe kroz fenomenalno svesna stanja a da i samo ne bude svesno. Ali, može li stvorenje da ima fenomenalno svesno stanje koje se odnosi na neki entitet, a

da nije svesno tog entiteta? Na primer, mogu li imati iskustvo određenog cveta bez da sam svestan tog cveta? Sigurno ne. Iskustva ne mogu postojati neiskušena više nego što smeh može postojati nesmejan ili što vrisak može postojati nevrištan.“ (Tye, 2009, str. 8)

Kada govorim o samoreferencijalnosti svesti, pod time ne podrazumevam da su sadržaj svesti i svesno iskustvo jedno te isto u striktnom smislu. Postojanje subjektivnosti (perspektive prvog lica) podrazumeva i istovremeno postojanje subjektivnog sadržaja, bez koga fenomenalno iskustvo „kako izgleda biti“ ne bi bila moguće. U funkcionalnom smislu samoreferentnost je proces koji predstavlja samoreprezentativnost sistema. Sistem uzima sebe (svoje delove) za predmet delovanja i tu možemo govoriti o biološkoj samoreprezentaciji.

Mi smo zaključani unutar subjektivnog sveta i pristup bilo kom objektu ili iskustvu je pristup samoj svesti. Ovo naravno ne povlači solipsizam koji bi doveo u pitanje postojanje spoljašnjeg sveta, već samo ukazuje na to da je odnos između subjektivnog iskustva i spoljašnjeg sveta posredan. Svet je uvek interpretiran, nikada prisutan u „originalnoj“ formi.

Na prvi pogled ovo može delovati kao teza koja se odnosi na viši oblik svesnog iskustva, na samosvest. Međutim, ja zastupam stav prema kome je samoreferentnost fundamentalna osobina subjektivne perspektive (kako izgleda biti), bez obzira da li je reč o višem obliku svesti (samosvesti) ili bazičnoj svesti⁵³ (primarnoj svesti) koju pripisujemo životinjama. Razlika između primarne svesti i samosvesti (svest višeg reda) je u tome što je za primarnu svest dovoljno postojanje trenutnih mentalnih iskustava. Edelman primarnu svest označava kao sadašnjost koje se sećamo (*remembered present*), i ona je preduslov za svest višeg reda. (Edelman, 2006) Svest višeg reda predstavlja svest o svesti. Za nju je potrebno postojanje koncepta sopstva, prošlosti i budućnosti. Samo u slučaju kada živo biće trenutno mentalno stanje povezuje sa istorijom stanja koja su mu prethodila (sećanja), a na osnovu kojih može da planira i pretpostavlja buduće radnje i događaje, može postojati samosvest. Postojanje samosvesti možemo dovesti direktno u vezu sa postojanjem autobiografskog sopstva. Da bi se pojavilo autobiografsko sopstvo potrebno je da se

⁵³ Edelman i Damasio razlikuju dve vrste svesti, bazičnu svest i svest višeg reda. Dok Edelman bazičnu svest naziva primarnom svešću (*primary consciousness*), Damasio za nju koristi termin „jezgro svesti“ (*core consciousness*). Poput Edelmana i on pod bazičnom svešću podrazumeva trenutno svesno iskustvo koje nije povezano sa autobiografskim sopstvom, sposobnim da trenutna stanja povezuje sa stanjima iz prošlosti i predviđanjima budućih stanja. (Edelman, 2004) (Damasio, 2000)

trenutno iskustvo postavi u istorijski kontekst kojim bi pojedinačna iskustva dobila dugotrajan smisao.

U slučaju primarne svesti (jezgra svesti) subjekat je u stanju budnosti, ima oseće, a prisutna su i osećanja. „Život se oseća ali nije stvarno ispitan.“ (Damasio, 2000, str. 194) Primarna svest se isključivo odnosi na osećaj znanja (*feeling of knowing*) sada i ovde. U tom slučaju ne postoji autobiografsko sopstvo, ali postoji „jezgro sopstva“ (*core self*) koje je fundamentalnije od autobiografskog sopstva i koje je preduslov za njegov nastanak. Jezgro sopstva prolazi kroz proces konstantne promene, kroz koji se on neprekidno iznova konstituiše. Damasio ovaj proces opisuje kao „narrativ bez reči“. (Damasio, 2000) Promenom toka mentalnih događaja menja se i sopstvo, a samo osećanje postojanja se održava samim aktom spoznaje, subjekat postaje identičan sa njim. „Ti si muzika dok muzika traje.“ (Damasio, 2000, str. 171) Jezgro sopstva prati osećaj znanja (*feeling of knowing*) čime se uspostavlja fenomenalna egzistencija „kako izgleda biti“. Kao što sam već pomenuo, ja smatram da čak i u slučaju primarne svesti svesno iskustvo ima osobinu samoreferentnosti. Kroz akt spoznaje (koji u ovom slučaju predstavlja primitivno svojstvo) subjekat je u isto vreme i posmatrač (jezgro sopstva) i sadržaj iskustva. Ovo ne podrazumeva da su subjektivnost (posmatrač) i sadržaj jedno te isto, da među njima nema razlike, već da je subjektivnost uvek podrazumeva usmerenost na fenomenalni sadržaj. Ovo je rudimentarna osobina svesti koja važi i za svest višeg reda, koja je u svojoj strukturi bogatija i proširenija za autobiografsko sopstvo u odnosu na primarnu svest.

Da je moguće imati svesno iskustvo sa ozbiljnim oštećenjem i gubitkom autobiografskog sopstva možemo videti u slučajevima osoba koje pate od Alchajmerove bolesti i sindroma prolazne globalne amnezija (*transient global amnesia*). Alchajmerova bolest progresivno dovodi do trajnog gubitka autobiografske memorije i autobiografskog sopstva. Za razliku od nje, prolazna globalna amnezija je sindrom koji obično ne traje duže od jednog dana, najčešće nekoliko sati i dovodi do trenutnog gubitka autobiografske memorije, kao i gubitka memorije anticipiranih događaja. Osoba koja ima *PGA* neće biti svesna događaja i stanja koja su prethodila trenutku u kome se osoba nalazi, kao i događaja i stanja koje je osoba anticipirala ili planirala da će se dogoditi u nekom skorijem periodu. Gubitak autobiografske memorije i sopstva dovodi do gubitka svesti višeg reda (samosvesti). Osobe sa jakom epizodom *PGA* gube pojam o tome gde se nalaze, sa kojim razlogom su tu, kada su došle, a često i ko su. Ono što ne gube jeste mentalni tok

koji obuhvata stalno menjajući sadašnji trenutak. Jezgro svesti je i dalje sačuvano što omogućava osobi da i dalje poseduje primarnu svest. Svest o onome što se dešava sada i ovde.

Iskustvo koje ima osoba sa sindromom *PGA* ili Alchajmerovom bolešću se ni u kom slučaju ne može nazvati samosvešću, ali je i pored toga samoreferentno. Ono nije samoreferentno u smislu koji se najčešće uzima za samosvest, svest koja promatra samu sebe kroz akt spoznaje sebe kao mislećeg (svesnog) subjekta. Samoreferentnost se ogleda u činjenici da se njegovo iskustvo isključivo odnosi samo na predmete i događaje koje pripadaju tom iskustvu. Nemoguće je odvojiti sadržaj svesti od same svesti, jer nema svesnog sadržaja bez svesti.

Za drugi primer možemo da uzmemo stanje sna. Izuzev retkih situacija poput lucidnih snova, stanje sna predstavlja stanje u kome nemamo samosvest. Većinu iskustava u toku *REM* faze sna možemo smatrati svesnim ali unutar sna ne postoji samorefleksija o svesnom iskustvu. Ako sanjam tornado koji odnosi kuće i mene koji pokušavam da se sakrijem od njega, moje svesno iskustvo će biti sled iskustva koje sam opisao. Tokom tog sleda neću ni u jednom trenutku biti svest koja misli o svesti. Svesno iskustvo čoveka je u pojedinim trenucima sna najbliže stanju primarne svesti.

Ovo je veoma bitna tačka u modelu koji zastupam. Prema mom mišljenju ni jedan od do sada izloženih modela se nije bavio ovom osobinom svesti. Osnovna karakteristika svesnog iskustva je to što je u svakom svesnom trenutku sama sebi predmet, što je samoreferentna. Na primer, *THI* polazi od fenomenologije postavlja aksiome i pokušava da objasni najvažnije osobine svesnog iskustva putem kauzalnih odnosa. Međutim, *THI* poput drugih teorija dinamičnih sistema nije uzela u razmatranje činjenicu da se svest uvek bavi sama sobom. Ne postoji neposredan pristup predmetima u spoljašnjem svetu. (*Russell, 1951*) Mnogi argumenti koji dovode u pitanje izvesnosti našeg znanja, poput Dekartovog „zlog demona“ ili savremeni oblik tog argumenta poznatiji kao „mozak u tegli“, koriste ovu osobinu svesnog iskustva. Bez obzira da li opažamo staklenu čašu na stolu ispred nas, izražavamo neko verovanje ili imamo osećanje melanholije, ta čaša, to što verujemo ili to osećanje jeste naše svesno iskustvo i stoga je svest uvek usmerena ka njemu (odnosno sebi samoj).

Kao što sam već naznačio, primarna svest predstavlja kontinuirani tok iskustva, koji postaje iskustvo višeg reda (iskustvo o iskustvu) onda kada se trenutni tok iskustva povezuje sa

iskustvima iz prošlosti i anticipiranim iskustvima koja nas čekaju u budućnosti. Tada dolazi do formiranja autobiografskog sopstva i sposobnosti da se trenutno iskustvo doživi kao iskustvo postojanog nepromenljivog subjekta koji stoji iza svih tih iskustava. Kod primarne svesti ne postoji doživljaj nepromenljivog subjekta koji stoji iza svih iskustava, ali u svakom trenutku postoji promenljivi subjekat iskustva. Ono što ja zastupam jeste da je i subjektivno iskustvo bez postojanja autobiografskog sopstva samoreferišuće, zaključano unutar domena iskustva. Glavni izazov ove hipoteze jeste objašnjenje fenomenalne zatvorenosti iskustva korišćenjem pojma kauzalnosti.

Zbog toga mislim da je za svaki materijalistički model potrebno da objasni kako se može postići samoreferencijalnost u fizičkim sistemima. U modelu koji zastupam želim da pokažem da subjektivni karakter (usmerenost ka sebi samoj) proizilazi iz sposobnosti sistema da vrši kauzalno „samoreferiranje“, odnosno da poseduje cirkularnu kauzalnost. Sa pojmom cirkularne kauzalnosti smo se već susretali u prethodnim poglavljima, ali ću ga ja iskoristiti na drugačiji način. Prema hipotezi koju ja zastupam, cirkularna kauzalnost dovodi do stanja „neprekidne kauzalne samoreference“⁵⁴. U takvom stanju se gubi jasna podela između uzroka i posledice. Uzrok dolazi u stanje u kome postaje zavisna od svoje posledice, a posledica nastavlja da bude zavisna od početnog uzroka. Kroz međusobnu zavisnost, tokom procesa se gubi kauzalni redosled, i sistem dolazi u stanje samoreference, što mu omogućava da poseduje subjektivno iskustvo. Zašto je ovo povezano sa subjektivnošću? Osnovni razlog jeste pronalazak mehanizma koji bi obezbedio postojanje sistema iz sopstvenog ugla, perspektivu nezavisnu od spoljašnjih uzroka. Trenutak u kome se uspostavi kauzalna samoreferenca je trenutak kada kauzalni procesi postaju zavisni isključivo sami od sebe, zatvoreni u sopstvenom krugu kauzalnosti. Zato je važno da su kauzalni uzrok i posledica, gledano isključivo iz perspektive celog procesa, budu međusobno zavisni.

4.7. Cirkularna kauzalnost

Cirkularna kauzalnost je dosta dugo bila kontroverzni pojam, koji su mnogi filozofi i naučnici odbacivali. Ali danas veliki broj autora, koji koriste pojmove teorije dinamičkih sistema za objašnjenje nastanka emergentnih svojstava u samoorganizujućim sistemima, redefinišu pojam

⁵⁴ Pod kauzalnom samoreferencijom podrazumevam cirkularni kauzalni uticaj, proces formiranja zatvorene kauzalne petlje koja je identična sa svesnim iskustvom.

kauzalnosti u tom smislu što dozvoljavaju pojavu cirkularne kauzalnosti, odnosno simetričan odnos između uzroka i posledice. Varela, Thompson i Roš emergentni proces vide kao proces koji je istovremeno i uzrok i posledica. „...jedini način na koji se može izraziti emergencija je da je proces istovremeno i uzrok i posledica.“ (Varela, Thompson and Rosch, 2017, str. 119) To smatra i Elis „Dodatno, cirkularna kauzalnost je moguća: stvari mogu biti uzroci jedna drugoj – relacija recipročnog uticaja.“ (Ellis, 2011, str. 132)

Cirkularna kauzalnost u samoorganizovanim sistemima se povezuje sa međusobnim delovanjem celine na konstituente, i obratno, konstituenta na sistem kao celinu. „Cirkularna kauzalnost ulazi na sledeći način: Stanje neuronske populacije u jednom delu korteksta je makroskopski događaj koji nastaje kroz interakcije mikroskopskih aktivnosti neurona koji čine neurofil. Globalno stanje je uzlazno proizvedeno mikroskopskim neuronima i istovremeno globalno stanje silazno oraganizuje aktivnosti individualnih neurona. Svaka kortikalna fazna tranzicija zahteva ovu cirkularnost.“ (Walter J. Freeman, 2006, str.84, in Susan Pockett, William P. Banks and Shaun Gallagher (Editors)) Sličan opis možemo naći i kod Klarka kada govori o dinamici samoorganizujućih sistema. „Ovi sistemi su takvi da je istovremeno istinito reći da delovanje delova uzrokuje ponašanje celine i da ponašanje celine upravlja aktivnošću delova.” „...ova ideja se ponekada naziva cirkularna kauzalnost.“ (Clark, 1997, str. 107)

Evan Thompson pojam cirkularne kauzalnosti i odnos između delova i celine, opisuje pojmom „dinamičke koemergencije“, „Dinamička koemergencija najbolje opisuje vrstu emergencije koju vidimo u autonomiji. U autonomnom sistemu, celina ne samo da nastaje iz (organizacionog zatvaranja) delova, već i delovi takođe nastaju iz celine.“ (Thompson, 2007, str. 65) Sličan stav nalazimo i kod Hakena „Stoga, samoorganizujući sistemi ispoljavaju cirkularnu kauzalnost: lokalne interakcije prouzrokuju globalne obrasce ili red, dok globalni red ograničava lokalne interakcije.“ (Mark Siderits, Evan Thompson and Dan Zahavi (Editors), 2011, str. 253) Kelso, Tognoli, Bresler, koristeći pojam metastabilnosti, opisuju kako dolazi do emergencije kroz sinergetski odnos celine i delova. (Bressler and Kelso, 2016) (Tognoli and Kelso, 2014) (Kelso, 2012) Pored navedenih postoji čitav niz autora koji prihvata ideju cirkularne kauzalnosti, Minski (Minsky, 1998), Haken (Hermann Haken in Günter Wunner and Axel Pelster (Editors.), 2012), Šipek, Hajzel, Karh, Pledlerl i Štrunk ((Günter Schiepek, Stephan Heinzl, Susanne Karch, Martin Plöderl, and Guido Strunk) in Günter Wunner and Axel Pelster (Editors), 2012).

Cirkularno kauzalno delovanje se može posmatrati samo iz ugla celokupnog procesa, gde je potrebno vreme (nekoliko stotina milisekundi) da se izvrši celokupna petlja. Dakle, samo na nivou celokupnog procesa, koji u određenom trenutku dobija svojstva veća od prostog zbira pojedinačnog sleda neuronskih događaja, dolazi do sjedinjavanja uzroka i posledice. U takvoj situaciji dolazi do „pat“ pozicije u kome se gubi jasan kauzalni redosled. Trenutak kada se gubi redosled uzroka i posledice je trenutak u kome nastaje zatvorena kauzalna petlja i sistem dolazi u stanje neprekidne kauzalne samoreference.

4.8. U čemu je glavna razlika između *HNKS* i teorija polja?

Razlika između modela koji ja zastupam i svih modela koji spadaju u neki vid teorije polja je u tome što ti modeli svest izjednačavaju sa aktivnošću polja, bez obzira da li se svest svodi na samo intrinzična stanja polja (sredstvo) (*Poket, Džons, Maksvel*) ili na informaciju koja je sadržana unutar tog polja (proces) (*Mekfaden, Baret*). Nasuprot tome, ja svest izjednačavam sa svojstvom koje obuhvata i samo polje i njegove konstitutivne elemente. Prema mojoj hipotezi svest predstavlja izbalansiranu tenziju između dvostruke kauzalnosti.

Da bismo slikovito opisali gde se svest nalazi u odnosu ove dve kauzalnosti možemo da iskoristimo morski horizont kao metaforu. Svest u tom slučaju možemo posmatrati kao horizont, mesto spoja između neba (*downard kauzalnosti*) i mora (*upward kauzalnosti*). Horizont ne pripada ni nebu ni moru već predstavlja njihovu granicu, koja bi nestala onog trenutka kada bi se izgubio jedan od ograničavajućih faktora, bilo da je to more ili nebo. Zato prema *HNKS* svest nije svojstvo koje pripada polju ili njegovim konstituentima, već je identična sa njihovom međusobnom interakcijom.

4.9. Kojim moždanim mehanizmima se ostvaruje cirkularna kauzalnost?

Odgovor na ovo pitanje podrazumeva objašnjenje moždanih mehanizama koji omogućavaju *top down* kauzalnost i mehanizama koji omogućavaju *bottom up* kauzalnost. Da bi se ostvarila neprekidna kauzalna samoreferenca potrebna je međusobna uslovljenost ove dve vrste kauzalnosti. Uzlazna kauzalnost se vrši elektrohemijskim pražnjenjima pojedinačnih neurona i manjih neuronskih grupa. Drugu vrstu mehanizma predstavlja moždano elektromagnetno polje i ono omogućava delovanje makro nivoa na mikro nivo, odnosno silaznu kauzalnost. Za bolje razumevanje međusobnog uticaja ove dve vrste kauzalnosti može nam biti

od koristi pojam metastabilnosti⁵⁵ jer ga možemo koristiti za predstavljanje stanja u kome dolazi do njihove potpune međusobne uslovljenosti. Kao što smo videli u prvom poglavlju, metastabilno stanje je stanje u kome dolazi do balansa između suprotstavljenih tendencija različitih nivoa sistema. Da bi se postiglo stanje neprekidne kauzalne samoreference, jedan od uslova je postojanje balansa između tendencije mikro konstituenata da formiraju makro svojstvo i tendencije makrosvojstva da deluje na svoje gradivne konstituente. U slučaju neuronskog sistema to je tendencija pojedinačnih neurona da se integrišu u veće grupe i stvaraju *EM* polje i tendencija *EM* polja da modulira pražnjenje svojih konstituenata. Kada postoji savršen balans (pat pozicija) između ovih delovanja postoji međuzavisnost uzroka i posledice. Zahvaljujući ovim mehanizmima sistem se nalazi u procesu stvaranja zatvorene kauzalne petlje koja omogućava sistemu da bude zavisn samo od sebe i da postoji iz ugla prvog lica.

Da li je ovo što smo do sada izložili dovoljan argument koji pokazuje da se svest može izjednačiti sa količinom kauzalnog delovanja (informacijom) unutar cirkularne kauzalne petlje? Čini nam se i dalje da svest može i ne mora biti identična sa time. Neko može konstatovati da iz procesa cirkularne kauzalne petlje, ostvarene kroz dvostruku kauzalnost, ne sledi da će se pojaviti svesno iskustvo, odnosno da ne postoji nužna veza između njih. Osnovni razlog zbog koga je u model uveden pojam cirkularne kauzalnosti je da bi se objasnila samoreferentnost svesti. Kao što sam već naznačio, svest je moguća samo ako se uspostavi potpuna samoreferenca, kauzalna povratna sprega. Svest je proces u kome je uzrok u istom trenutku sebi i posledica. Pošto se bilo koji kauzalni proces odvija unutar granica i zakonitosti fizičkog sveta, i cirkularna kauzalnost takođe čuva kauzalnu zatvorenost fizičkog sveta. Na ovaj način svest možemo definisati kao nešto što nastaje u okvirima materijalnih sistema, gde se čuva kauzalna zatvorenost, ali sa druge strane ona predstavlja nešto više od onoga što poseduju konstitutivni pojedinačni elementi. Svest je suštinski relacionala i ona nije svojstvo ili sredstvo već proces. Zatvorena kauzalna petlja je proces, a njena zatvorenost je osnovni razlog zbog koga je svest privatna i zaključana za sve druge osim za subjekta koji je ima.

⁵⁵ Kako se ovaj slučaj metastabilnosti razlikuje od drugih metastabilnih stanja? Kod metastabilnih stanja u sistemima koji nisu neuronski sistem, poput feromagnentnih materijala, ne postoje cirkularne kauzalne petlje koje su neophodne da bi se postigla neprekidna samoreferenca. U zavisnosti od toga koliko dugo postoji samoreferenca toliko dugo postoji i svesno iskustvo.

Takođe, hipoteza koju predlažem može jasno da odgovori na pitanje zašto su neki procesi i razmena informacija nesvesni, a neki svesni. Samo ona informacija⁵⁶, koja postaje deo neprekidne kauzalne samoreference, čini deo svesnog iskustva. Sadržaj svesti će biti informacija, kauzalno delovanje, zarobljeno unutar cirkularne kauzalne petlje. Arhitektura sistema igra bitnu ulogu u mogućnosti sistema da stvori i održi kauzalnu petlju. Zbog toga je za neke delove neuronskog sistema, poput cerebeluma i moždanog stabla, gotovo nemoguće da budu deo svesnog iskustva, iako imaju sposobnost kauzalnog delovanja.

Teza koju ja zastupam sa jedne strane prihvata većinu pretpostavki i pojmova prethodno izloženih dinamičkih modela, ali sa druge strane daje dopunsko kauzalno objašnjenje svesnog iskustva. Na osnovu svega izloženog iz nje proizilaze jasne sugestije za dalja empirijska istraživanja kojima bi se hipoteza *NKS* mogla potvrditi ili opovrgnuti. Istraživanja bi trebalo da za cilj imaju merenje kauzalnog odnosa između pojedinačnih pražnjenja neurona i povratnog delovanja *EM* polja na njih, kao i utvrđivanje prostorno vremenskih okvira u kojima se uspostavlja proces neprekidne kauzalne samoreference. Na kraju bi trebalo pokazati kako izmerena *NKS* odgovara empirijskoj evidenciji koju koristimo za proveru hipoteze. Empirijska evidencija može koristiti dve vrste stanja. Ona koja bismo svi opisali kao svesna, poput stanja budnosti, *REM* faze sna, ali isto tako i stanja koja bismo opisali kao nesvesna, poput kome, dubokog sna, odsustva svesti usled totalne anestezije, epilepsije, itd. Osim toga hipotezu možemo testirati i tako što ćemo proveriti njenu validnost na primeru objekata (poput računara ili robota) kojima u svakodnevnom govoru ne bismo pripisali svest. Ako *HNKS* uspe da objasni sva navedena stanja onda je možemo smatrati adekvatnom teorijom svesti. Ukoliko pak dođe do razmimoilaženja između predikcija *HNKS* i empirijske evidencije, smatraćemo da je teorije netačna ili u najmanju ruku nepotpuna. U nastavku ću pokazati koliko i kako *HNKS* odgovara na neke od primera iz empirijske evidencije. Ono što u ovom radu neće biti predstavljeno jeste konkretan kalkulus prema kome bi se mogla izračunati *NKS*. Da li će način na koji se izračunava međusoban uticaj i uslovljenost makro i mikro nivoa biti sličan onom koji je predstavljen u *III* ostaje da se vidi.

⁵⁶ Još jednom želim da napomenem da pojam informacije treba posmatrati na tehnički način, kao na nešto što dovodi do promene, nešto što kauzalno deluje (razlika koja pravi razliku), a ne kao nešto što ima semantički sadržaj i što zahteva posmatrača koji bi mu dao smisao.

4.10. U čemu je glavna razlika između *HNKS* i drugih informacionih modela poput *TII*?

Prema *TII* dovoljan je samo prostor mogućnosti da nekom sistemu pripišemo svest. Kako Tononi navodi, moguće je da sistem ima svest čak i ukoliko ni jedan njegov element ne bi bio aktivan. (*Tononi, 2004*) U tom slučaju bi on posedovao svest samo iz razloga što potencijalno može da bude u nekom od stanja. Ja zastupam stanovište prema kojem nije važan samo repertoar stanja u kojima sistem može da se nalazi, već je potrebno da unutar sistema postoji aktivno kauzalno delovanje. Sasvim je moguće zamisliti sistem koji ima gotovo beskonačan broj stanja u kojima se može nalaziti, da bude integrisan posmatrano i iz intrinzične perspektive, a da i dalje ne bude ni u najmanjoj meri svestan. Prostor mogućnosti je od izuzetne važnosti za svesno iskustvo, ali ukoliko se on ne realizuje kroz neki kauzalni proces u kome dobija značaj kao spektar mogućih alternativa datoj kauzalnoj aktivnosti, on ostaje samo prostor mogućnosti. Dakle, potrebno je da sistem ima stvarni kauzalni uticaj⁵⁷, i to takav da se unutar sistema ostvari proces neprekidne samoreference.

U ovom odeljku sam više puta naznačio da je samoreferencijalnost svesti glavno svojstvo koje bi trebalo da objasnimo kauzalnim putem. Prema mom mišljenju pojam kauzalnosti je najbolji kandidat za funkcionalno objašnjenje samoreferencijalnosti svesti. Pojam kauzalnosti može da nam pomogne u objašnjenju kako i koja dešavanja na materijalnom nivou, među elementima (sredstvima), opisuju intencionalnost svesnog iskustva (fenomenalnu strukturu).

⁵⁷ Kako bi otklonio kauzalnu naddeterminaciju uzroka, Tononi uvodi postulat ekskluzije kojim želi da otkloni višestruko računanje uzročno-posledičnog delovanja unutar sistema. Ako posmatramo sa strane, može nam izgledati da više različitih podskupova elemenata deluje na neki drugi element ili podskup. Ali prema njemu samo struktura (podskup elemenata – maksimalno nesvodiva koneceptualna struktura) koja ima najveću kauzalnu moć ostvaruje „stvarno kauzalno delovanje“ posmatrano iz ugla samog sistema. Ostala delovanja ne dovode do bilo kakve promene u stanjima sistema, te stoga nisu „stvarna“ (ne postoje) posmatrano iz ugla samog sistema.

Izraz „stvarno kauzalno delovanje“ sam preuzeo od Tononija ali ga koristim nešto drugačije. Prema teoriji integrisane informacije dovoljno je da sistem ima mogućnost da integriše informacije (mogućnost da kauzalno deluje na samog sebe, odnosno mogućnost da napravi razliku koja pravi razliku unutar samog sistema „*difference that makes difference*“) da bi bio svestan. To znači da bi sistem bio svestan čak i kada ni jedan njegov element ne bi bio aktiviran. Tako bi na primer mozak, u kome ni jedan neuron ne bi bio aktiviran, imao iskustvo „da se ništa ne dešava“ (*Tononi, 2004*). Nasuprot tome, ja smatram da sistem mora biti aktivan da bi proizveo svesno iskustvo, gde nije dovoljno da postoji mogućnost za integraciju informacije, već *defacto* mora postojati ostvareno delovanje. Potrebno je da postoji elektrohemijska aktivnost neurona koji će proizvesti *EM* polje, koje zatim ima povratan uticaj na neurone koji ga konstituišu. Želeći da istaknem razliku moje hipoteze u odnosu na *TII* iskoristio sam pojam „stvarni kauzalni uticaj“, (ali, kao što sam iznad rekao, dao sam mu nešto drugačije značenje) jer smatram da nam na nivou opisa može ukazati na razliku mogućnosti delovanja i ostvarenog delovanja.

Pošto je svest uvek usmerena ka objektima iskustva, pojam kauzalnosti služi da objasni kako je na funkcionalnom nivou, sistem (model) usmeren prema svojim elementima (ideja *top down* kauzalnosti).

Intencionalnost ne podrazumeva intencionalnog subjekta koji bi postojao na materijalnom nivou, koji postoji autonomno nezavisno od kauzalnog delovanja unutar sistema, već ideju da ono što doživljavamo kao fenomenalnu intencionalnost nastaje kada samoorganizujući sistem usmerava delovanje na svoje konstituente. Emergentno svojstvo (svojstvo sistema kao celine) nastalo kroz samoorganizaciju fizičkih konstituenata ima svoj intencionalni sadržaj, elemente samog sistema. Subjektivni doživljaj kao „kako izgleda biti“ jeste usmerenost (delovanje) sistema na svoja stanja.

Ono što mi doživljavamo kroz iskustvo (ideja samoreferentnosti – usmerenje svesti na sadržaje iskustva), fizički je realizovano kroz dinamiku sistema (ideja cirkularne kauzalnosti). Cirkularna kauzalnost ne podrazumeva gubitak intencionalnog sadržaja, jer *top down* kauzalnost, kao jedan krak unutar cirkularne kauzalnosti ima svoje konstitutne za intencionalni sadržaj. U tom slučaju model interpretira svoja stanja. Neki autori poput Frimena smatraju da intencionalnost ne dolazi kao svojstvo iz linearne već cirkularne kauzalnosti. Pa tako i Merlo Ponti intencionalnost povezuje sa vidom cirkularne kauzalnosti, gde se intencionalnost posmatra kroz cirkularne akcija percepcija petlje. (*Merleau-Ponty, 2002*)

4.11. Neprekidna kauzalna samoreferenca i nelinearni kauzalni sled

Samoreferentnost unutar fizičkog sveta se ostvaruje kroz poseban odnos uzroka i posledice. Dok god u okviru kauzalne relacije postoji linearni kauzalni redosled između uzroka i posledice, ne može doći do kauzalne samoreference. Potrebno je da sam uzrok utiče na sebe i da sama posledica takođe utiče na sebe. To bi ujedno zahtevalo i prihvatanje ontologije procesa, jer dok god se prema događajima ophodimo kao prema nizom partikularnih događaja, kauzalna samoreferenca se ne može ostvariti. Svest je proces u kome je uzrok sebi i posledica, i obrnuto u kojem je posledica sebi uzrok. To naravno ne treba pomešati sa pojmom *backward*⁵⁸ kauzalnosti,

⁵⁸ Pod pojmom *backward* kauzalnosti se podrazumeva mogućnost da posledica kauzalno utiče na svoj uzrok. Da bi to bilo moguće, potrebno je drugačije poimanje vremena od onoga koji se uzima u današnjoj fizici. Više o tome <https://plato.stanford.edu/entries/causation-backwards/>

pošto pojedinačno posmatrano postoji jasan objektivni sled događaja. Uzrok *A* uvek prethodi posledici *B*. Promena vremenskog sleda u kojoj bi posledica *B* mogla da utiče na prošlost, na svoj uzrok *A*, je nemoguća iz ugla današnje fizike i opšte prihvaćenog pojma vremena. Ova cirkularnost uzroka i posledice se može posmatrati samo iz ugla celokupnog procesa koji ih sadrži. Kao što sam već pomenuo iznad, cirkularna kauzalnost nastaje kao posledica međusobnog uslovljavanja *top down* i *bottom up* kauzalnosti. Ona se razlikuje od *backward* kauzalnost u tome što ne prihvata da sadašnjost (posledica) utiče na prošlost (uzrok). Kod cirkularne kauzalnosti dolazi do stanja u kome uzrok (mikrostanje) utiče na stvaranje posledice (makrostanja), a makrostanje istovremeno deluje na mikrostanja (čime postaje uzrok promene u njima). U arhitekturi postoji pojam *tensegrity* (sinergija tenzije i integracije) gde postoji istovremeni uticaj delova na celinu i celine na delove, čime se struktura održava stabilnom. (*Buzsaki, 2006*) Temporalno posmatrano, prvo je aktivnost mikrostanja dovela do nastanka makrostanja. Ali u jednom trenutku došlo je do pojave međusobne zavisnosti različitih nivoa (metastabilnog stanja) i pojave cirkularne kauzalnosti. U tom trenutku, i sve dok traje metastabilno stanje, postoji simultana uslovljenost između makro i mikro nivoa.

Redosled događanja koji se odvijaju na nesvesnom, neurološkom nivou je drugačiji od redosleda svesnog doživljaja. Takva mogućnost postoji jer je reč o različitim nivoima. Iako je iskustvo posledica događaja na neuronskom nivou, neuronski događaji nisu samo iskustvo. Pokušaj da se nađe tačno mesto i trenutak svesti pogrešan je i vodi u kategorijalnu grešku, koju je na primeru univerziteta u svojoj knjizi *The Concept of Mind* opisao Gilbert Ryle. (*Ryle, 2009*) Zamislite da stranog posetioca povedete u obilazak Univerziteta Oksford ili Kembridž i u okviru njega mu pokažete zgrade različitih koledža, profesore, studente, administrativne radnike, muzeje, biblioteke i parkove. Na kraju, nakon obilaska, posetilac vam postavlja pitanje: „Gde je univerzitet?“ Vi shvatate da on misli da je univerzitet posebna zgrada, gde se nalaze laboratorije, i gde žive i rade profesori i naučnici, i objašnjavate mu da je univerzitet „...samo način na koji je sve to što je već video organizovano. Kada su oni viđeni i kada se razume njihova koordinacija viđen je i univerzitet.“ (*Ryle, 2009, str. 6*) Isti zaključak možemo primeniti na neurološku osnovu svesti „...niz neuroloških događaja koji čine jedno iskustvo diska ne može biti podeljen na manja iskustva, njegovi delovi su neurološki, nisu iskustveni.“ (*Rockwell, 1996*)

Unutar objektivnog fizičkog sveta kauzalni odnosi poštuju linearni vremenski sled. Nasuprot tome subjektivni kauzalni redosled može biti nelinearan. Glavni razlog leži u tome što

se objektivni kauzalni redosled odnosi na mikro nivo, gde jedan događaj uzrokuje drugi, koji zatim deluje na treći i td. Subjektivni kauzalni redosled se odnosi na makro svojstva, celokupan proces. Unutar takvog procesa je moguće da dođe do promene subjektivno doživljenog kauzalnog sleda. Kauzalnu samoreferencu možemo zamisliti kao proces u kome prestaje linearni kauzalni sled.

U delu u kome sam detaljnije govorio o pojmu cirkularne kauzalnosti smo mogli da vidimo da prihvatanje teorije dinamičkih sistema sa sobom donosi i prihvatanje nestandardnog pojma kauzalnosti. „Kompleksni materijalni sistemi sa distribuiranom nelinearnom povratnom spregom, kao što su mozgovi i njihove neuronske i bihejvijoralne aktivnosti, ne mogu se objasniti linearnom kauzalnošću.“ (*Freeman, 1999, str. 143*) Freeman i autori poput Varele, Tompsona, Roš, Kelsa, Elisa i drugih smatraju da u određenim uslovima, kada postoji balans između *top down* i *bottom up* kauzalnosti, dolazi do pojave cirkularne kauzalnosti, emergentnog stanja u kome su uzrok i posledica izjednačeni. Kauzalni uticaj postoji ali je simetričan, što podrazumeva odlazak od tradicionalnog shvatanja asimetrije uzroka i posledice.

Kao što sam već napomenuo, to ne znači da se u fizičkom svetu može promeniti redosled kauzalnog delovanja na nivou pojedinačnih događaja, već da se redosled može promeniti na nivou celog procesa. Ako uporedimo vremenski sled dešavanja na mikro nivou (nivou konstituenata i manjih podskupova) i fenomenološkog vremenskog sleda nakon procesa neprekidne kauzalne samoreference, videćemo da postoji razmimoilaženje. Fenomenološki sled odgovara onome što se dešava na nivou celog procesa, a sam proces je integrisana celina koja se ne može svesti na pojedinačne događaje. Samo proces kao celina nam je fenomenološki dat, zbog čega i imamo jedinstveno nedeljivo iskustvo. Zbog toga je moguće da sa jedne strane imamo objektivni niz događaja (sukcesivno pražnjenje neuronskih grupa) koji je nakon integracije unutar procesa *NKS* fenomenološki predstavljen drugačije. To znači da se sled može promeniti unutar subjektivnog svesnog iskustva, koji je identičan sa procesom kauzalne samoreference, a da pri tom zadrži svoj objektivni sled na mikro nivou.

Koristeći primer plavog diska Denet pokazuje da postoji razmimoilaženje između onoga što percipiramo iskustveno i niza aktivnosti koje se odvijaju unutar mozga. Bez obzira što imamo jedinstveno iskustvo plavog diska, u mozgu se osobina kruga određuje vremenski pre osobine

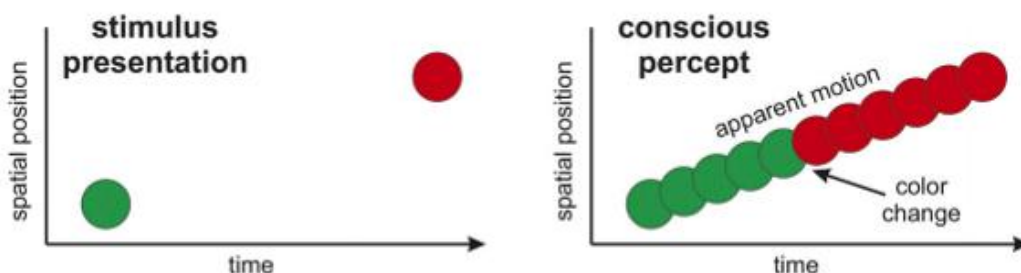
plave boje, a novo svojstvo plavog kruga se definiše milisekundama nakon pojedinačnog određenja ova dva. Jasno je da naše iskustvo ne prati redosled informacionog procesiranja u neuronskim kolima. Mi smo svesni samo celokupnog jedinstvenog iskustva plavog kruga ali ne i osobine samo kruga ili samo plavog. (Dennett, 1992) „Ako neko hoće da postavi neki trenutak procesiranja u mozgu kao trenutak svesti, to mora da bude arbitrarno.“ (Dennett and Kinsbourn, 1992, str. 194) Primer koji Denet navodi je relevantan u tom smislu što pokazuje razliku između dešavanja na materijalnom nivou, objektivnog sleda događaja i subjektivnog iskustva koje kao celina u sebi sadrži sve pojedinačne događaje ali se ne može poistovetiti ni sa jednim od njih. Subjektivno iskustvo ne prati objektivni kauzalni sled, a razlog je to što je svesno iskustvo emergentno svojstvo koje obuhvata ceo proces.

Da je moguće promeniti objektivni kauzalni redosled unutar subjektivnog iskustva potvrđuju primeri poput prividnog zeca (*illusory rabbit*). (Stiles, Li, Levitan, Kamitani and Shinsuke, 2018) Hercog, Kamer i Šarnovski (Herzog, Kammer and Scharnowski, 2016) takođe tvrde da se naše iskustvo objekata ne doživljava istovremeno sa fizičkim dešavanjem u realnosti, već desetinama ili stotinama *ms* kasnije. (Slika 4.1) To je period potreban za nastanak svesnog iskustva i tokom tih nekoliko stotina milisekundi mozak vrši povezivanje različitih perceptivnih informacija, njihovu reviziju i verovatno reviziju revizije pre nego što kao krajnji ishod te aktivnosti imamo svesnu percepciju. Na slici 4.1 možemo videti dve situacije. U prvom slučaju (leva slika) možemo videti šta je zaista prezentovano posmatraču. Prvo mu je prikazan zeleni krug, a zatim nekoliko desetina milisekundi kasnije i crveni krug. Na drugoj slici (desna slika) možemo videti njegovo subjektivno iskustvo. Očigledno je da postoji veliko razmimoilaženje između onoga što je njemu prikazano i onoga što on doživljava. Za razliku od diskretnih objektivnih događaja njegovo iskustvo je kontinuirano, i ne samo to, u njegovom iskustvu dolazi do narušavanja kauzalnog redosleda događaja. Crveni krug se pojavljuje u prostoru mnogo pre mesta na kome se on objektivno pojavljuje. Naravno objektivni *forward* kauzalitet nije narušen, ali naše subjektivno iskustvo je u suprotnosti sa objektivnim sledom događaja.

Denet je eksperimente koristio kako bi pokazao da subjektivno iskustvo nije verdicko. Ja koristim i interpretiram iste eksperimente sa drugačijom namerom. Ne želim da pričam o istinitosti iskaza baziranih na našem svesnom iskustvu, jer to eksperimenti direktno pokazuju, već želim da analiziram fenomenalno iskustvo i njegov odnos sa događajima unutar materijalnog

sveta koji ga proizvode. Polazeći od fenomenologije, poredeći subjektivno iskustvo sa materijalnim mehanizmima koji stoje u njegovoj osnovi, pokušavam da objasnim kako je moguće da dođe do mimoilaženja između redosleda koji mi fenomenološki doživljavamo i objektivnog redosleda u materijalnom svetu koji ga proizvodi. Nije dovoljno reći da se nešto dogodilo u t_2 , a da smo ga mi doživeli kao da se dogodilo u t_1 , već je potrebno objasniti zašto se subjektivna realnost razlikuje od objektivne. Želim da objasnim disparitet između svesti i događaja u neuronskoj osnovi. Prema mojoj hipotezi svest nije niz trenutaka, već celokupan proces koji prevazilazi pojedinačne trenutke. Zbog toga su navedeni primeri važni.

Na neuronskom nivou dolazi do pražnjenja neurona koji predstavljaju objektivni sled događaja u mozgu, ali svesno iskustvo ne prati taj sled. Jedan od razloga je to što na nivou celokupnog procesa, koji vremenski najčešće obuhvata period od nekoliko stotina ms, dolazi do integracije u jedinstvenu kauzalnu strukturu. Subjektivno nam je data jedino ceokupna kauzalna struktura ostvarena kroz celokupan proces. Takav geštalt jeste svesno iskustvo i ono ima drugačiji redosled od pojedinačnih delova procesa koji ga konstituišu. Dakle, ja zastupam hipotezu prema kojoj je glavni razlog zbog koga je subjektivni kauzalni redosled drugačiji u odnosu na objektivni, to što je svest identična sa celokupnim procesom.



Slika 4.1 (Herzog, Kammer and Scharnowski, 2016, str. 3)

Ova hipoteza se može dovesti u pitanje oslanjajući se na rezultate istraživanja koje je sproveo Libet i koji su pokazali da svesno iskustvo zaostaje za neuronskim događajima oko 500ms. Ukoliko je to tačno onda se svest ne može poistovetiti sa neuronskim događajima. U slučaju Libetovog istraživanja navodi se nastanak *RP* (*Readiness potential*) kao trenutak u kome su naše odluke donesene na nesvesnom nivou, 500 ms pre nego što smo ih postali svesni. Neka novija istraživanja taj vremenski okvir pomeraju mnogo duže, čak 10 sekundi pre nego što

imamo svesno iskustvo odluke. (*Soon, Brass, Heinze and Haynes, 2008*) Prema mom mišljenju svest ne zaostaje za neuronskim događajima. Poredeći trenutak kada imamo svesno iskustvo i početak neuronskih događaja, izgledaće nam kao da ono dolazi znatno kasnije, međutim to nije slučaj. To je osnov kategorijalne greške gde se svesno iskustvo pokušava izjednačiti sa određenim trenutkom. Svesno iskustvo dolazi na kraju kao rezultat celog procesa koji obuhvata interakciju kortikalnih i limbičkih područja.⁵⁹

Međutim, postoji više kritika koje dovode u sumnju zaključke koje je izveli Libet, Sun i ostali zastupnici teze da svesno iskustvo kasni (stotinama milisekundi ili sekundama) za neuronskim događajima. Kritike možemo podeliti na one koje su usmerene na način na koji je sprovedeno istraživanje i na one koje nude novu eksperimentalnu evidenciju koja se kosi sa Libetovim zaključcima.

Prema Poket (*Pockett, 2002*) kašnjenje senzornog odgovora je u velikoj meri zavisno od intenziteta stimulusa. Ovu razliku intenziteta Libet nije uspeo da otkloni u svojim istraživanjima što dovodi u pitanje verodostojnost interpretacije rezultata istraživanja. Drugi problem je neproporcionalnost međumodalne senzorne stimulacije (*crossmodal sensory stimulation*). Poket i Brajtmejer (*Bruno G. Breitmeyer*) smatraju da različiti senzorni modaliteti imaju svoje jedinstveno vreme odgovora na stimuluse, zbog čega među njima postoji razlika, kašnjenje u odgovoru na stimulus. Iako danas postoje dovoljno precizni instrumenti koji nam omogućavaju

⁵⁹ Prema Frimenu (*Walter J. Freeman, 2006, in Susan Pockett, William P. Banks and Shaun Gallagher (Editors)*) kauzalni krug se može razložiti u dva talasa aktivnosti. Prvi talas čine dolazni (*forward*) senzorni obrasci iz različitih senzornih modaliteta koji vrše perturbaciju limbičkog sistema unutar koga se stvaraju novi obrasci. Nakon toga sledi drugi talas, povratni (*feedback*), unutar koga se limbički i senzorni obrasci aktivnosti integrišu u globalni obrazac aktivnosti. Zahvaljući tome oni funkcionišu kao jedinstvena celina unutar koje su zarobljeni svi lokalni obrasci (senzorni i limbički). Tek nakon povratne aktivnosti moguć je nastanak globalnog obrasca koji obuhvata oba talasa, ali čije svojstvo je emergentno (prevazilazi zbir pojedinačnih talasa). (*Freeman, 2006*) Videli smo da Edelman (*Edelman and Tononi, 2000*) koristi rientri (*reentri*) proces kao mehanizam koji opisuje neprekidnu razmenu dva talasa aktivnosti.

da u dobro postavljenim eksperimentalnim uslovima izračunamo kako se menja jačina čulnog doživljaja u odnosu na intenzitet stimulusa, to nije bilo uračunato unutar Libetovog istraživanja. Ali, čak i sa veoma preciznim instrumentima, postoji problem merenja unutrašnje (moždano) generisanih stimulusa. Zbog nemogućnosti preciznog merenja intenziteta unutrašnje generisanih stimulusa poput želja ili namera, to predstavlja dodatni problem za prihvatanje Libetove hipoteze.

Drugo, uslovi pod kojima je vršeno istraživanje ne predstavljaju uobičajen način na koji se odvija misaoni proces donošenja odluke. Osoba je prvo morala da razmišlja unapred o tome da treba da donese odluku, a onda da je donese po sopstvenom nahođenju. Pored toga u ovako postavljenom eksperimentu osoba je morala istovremeno da obraća pažnju na dva izveštaja (izveštaj kada je odlučila da pomeri ruku i izveštaja gde se nalazila kazaljka na satu). Kod takve metode nije neobično da se pojavi kašnjenje usled zahteva da osoba zapamti kad je odlučila i gde se nalazila pozicija kazaljke. U takvim okolnostima ceo proces je podložan retrospektivnim izmenama. Zbog toga što su u pitanju milisekunde postoji velika mogućnost za grešku čime se dovodi u pitanje verodostojnost u preciznost prosuđivanja izveštaja. (*Matsushashi and Hallett, 2008*)

Osim prethodno pomenutih prigovora, koji su ciljali na neadekvatnost procedure, postoje i istraživanja (*Haggard and Eimer, 1999*) (*Trevena and Miller, 2010*) koja dovode u pitanje tvrdnju da je *RP* pokazatelj svesne motorne odluke. Ovakva vrsta prigovora ukazuje na to da *RP* nije indikacija odluke da se načini pokret, već da je povezan sa opštijim nesvesnim procesom pripreme za donošenje odluke. Svaki od navedenih eksperimenata je konstruisan tako da ispitanik zna zadatak i čeka određeni trenutak kada će samovoljno doneti odluku. Budući da je tako konstruisan, *RP* može biti pokazatelj da se mozak priprema da donese odluku a ne da je odluka donesena. Navedeni autori ukazuju da ne postoji korelacija između *RP* i svesnog iskustva donošenja odluke, već umesto toga ističu korelaciju između *LRP* (*lateralised readiness potential*) i svesnog iskustva odluke. (*Haggard and Eimer, 1999*) (*Trevena and Miller, 2010*) Za razliku od *RP*, *LRP* se javlja u kasnoj fazi procesa donošenja odluke (direktno predstavlja spremnost da se aktivira određeni deo tela) i jako je bliska trenutku subjektivnog doživljaja donošenja odluke.

Prema Šurgeru, Situ i Daenu (*Schurger, Sitt, and Dehaene, 2012*) *RP* treba posmatrati kao proces koji možemo podeliti na dve faze. Prva (rana faza) predstavlja početak procesa u kome

dominiraju stohastičke fluktuacije i početak sporog nesvesnog uslovljavanja voljnih odluka. Drugu, kasnu fazu (poslednjih 150 ms) karakterišu aktivnosti motornih neurona. Oni odbacuju Libetovu tvrdnju i smatraju da spontana motorna odluka dolazi u kasnijoj fazi *RP*. „Naš model dovodi u pitanje tu pretpostavku sugerišući da bi ‘neuronska odluka da se pomeri sada’ mogla da dođe veoma kasno u toku *RP*.“ (*Schurger, Sitt, and Dehaene, 2012, str. 2909*) U kasnoj fazi dolazi do prelaska praga aktivnosti, što se manifestuje u svesnom donošenju odluke. „...rana faza *RP* bi mogla pre da predstavlja preodluku nego postodlučujuću nadgradnju.“ (*Schurger, Sitt, and Dehaene, 2012, str. 2909*)

Osim toga, oni smatraju da sam kontekst u koji je postavljen ispitanik utiče na neuronske aktivnosti i ranu pojavu *RP*. Davanje zadatka osobi da spontano u nekom skorijem trenutku donese odluku, dovelo bi do približavanja bazične aktivnost motornih neurona pragu pražnjenja, što bi olakšalo nastanak spontane aktivnosti u određenom trenutku u bliskoj budućnosti. Tačan trenutak spontanog donošenja odluke nije unapred određen, već je određen spontanom stohastičkim aktivnostima unutar neuronskog sistema. Dakle, rana faza *RP*-a (500 ms) nije faza u kojoj je doneta odluka, već je to početak procesa u kome se neuroni približavaju pragu aktiviranja. Pošto je određena stohastičkim fluktuacijama na osnovu te faze ne možemo precizno utvrditi kada će se odluka dogoditi. Tek kada aktivnost neurona pređe prag atktivnosti i uđe u drugu fazu (motornu-egzekutivnu), donosi se odluka i tek tada možemo utvrditi vreme donošenja odluke.

Hagard (*Haggard Patrick*) voljnu radnju opisuje kao niz neuronskih procesa odlučivanja koji se vrše na nesvesnom nivou. Prema njemu volja (subjektivni osećaj namere) nije određena u ranim fazama *RP*-a, već *RP* predstavlja jedan segment u celokupnom procesu donošenja odluke. Donošenje kratkoročne voljne radnje deli na više faza: na ranu „da li“ fazu donošenja odluke, „šta“ fazu, kasnu „da li“ fazu i „kada“ fazu. Celokupan proces svesnog donošenja odluke uključuje sve faze. Rana „da li“ faza je faza u kojoj se na nesvesnom nivou donosi odluka da li uopšte da učinimo bilo kakvo delovanje. U toj fazi narušen balans u organizmu koji vodi do potreba i želja ima značajnu ulogu. „Šta“ faza predstavlja takođe nesvesnu fazu u kojoj se vrši izbor ciljeva. Unutar ove faze se vrši izbor ciljeva, ali i izbor načina, pokreta, kojima bi se neki od ciljeva izvršio. Kao što vidimo u formiranju voljne radnje kroz ranu „da li“ fazu i „šta“ fazu dolazi do nadgradnje detalja i informacija. Pošto je za to potrebno određeno vreme kasna „da li“

faza služi za proveru prethodno specificiranih aktivnosti neposredno pre nego što dođe do motorne aktivnosti. U kasnoj „da li“ fazi ne samo da se vrši poslednja provera i podešavanje pre sprovođenja aktivnosti, već je moguće u toj fazi u potpunosti otkazati (staviti veto) na aktivnost. „Kada“ faza predstavlja vremenski momenat u kome se donosi odluka. Precizan trenutak donošenja odluke ne može se unapred znati jer je zavisna od konteksta u kome se nalazimo. U svakodnevnim okolnostima „kada“ faza zavisi od koordinisanja sa rutinskim radnjama i drugim paralelnim procesima. (Haggard, 2008) Dakle, prema Haggardu ne postoji tačan unapred određen trenutak u kome je doneta odluka, već ona predstavlja proces iz više etapa koji je, što je veoma važno, moguće obustaviti. Ne samo da ne znamo unapred trenutak u kome će se doneti odluka, već se „kada“ faza se ne mora ni dogoditi.

S obzirom da trenutno postoje oprečni rezultati istraživanja od kojih neki opovrgavaju Libetovu hipotezu (Trevena and Miller, 2010) (Haggard and Eimer, 1999) a drugi joj idu u prilog (Soon, Brass, Heinze and Haynes, 2008), ne možemo doneti konačan sud o tome koja strana je u pravu zasnovano na trenutno dostupnoj empirijskoj podršci. Zbog toga ću probati da izložim dodatnu kritiku stanovišta da svest kasni za neuronskim događajima. Rezultat istraživanja koji nam govori da je svesna motorna odluka doneta nekoliko sekundi (čak 10 sekundi) pre nego što smo je svesni, ostavlja nam dovoljan prostor da misaonim eksperimentom testiramo hipotezu u kontekstu svakodnevnih okolnosti. Počnimo sa prihvatanjem rezultata istraživanja koje je sproveo Soon sa saradnicima (Soon, Brass, Heinze and Haynes, 2008) a koji pokazuju da se na osnovu obrazaca aktivnosti unutar delova prefrontalnog i parijetalnog korteksa naša odluka može predvideti čak 10 s pre svesnog iskustva donošenja odluke.

Zamislamo sada sledeću situaciju. Jedne hladne zimske noći sedimo u dnevnoj sobi u kojoj je zbog jakog grejanja postalo izrazito vruće, ali toga još uvek nismo postali svesni. Udubljeni u čitanje knjige ne primećujemo da se na nesvesnom nivou događa proces informisanja organizma o temperaturnom stanju. Informacije dobijene putem termoreceptora procesirane unutar hipotalamusa ukazuju na povišenu telesnu temperaturu (narušavanje homeostaze) i aktiviraju delove prefrontalnog i parijetalnog korteksa. Aktivacijom prefrontalnog i parijetalnog korteksa donesena je „odluka“ (RP) da smanjimo temperaturu sopstvenog tela (to na primer može biti otvaranjem prozora ili skidanjem džempera). Nesvesna „odluka“ (za koju znamo da postoji zbog postojanja RP) će biti sprovedena za 10 sekundi, kada se budu aktivirali motorni delovi

korteksa. Tada ćemo konačno postati svesni onoga što je pre 10 sekundi već bilo „odlučeno“. Međutim, sekundu nakon što je odluka nesvesno donesena, sestra ulazi u sobu i iznenada otvara prozor. Jak vetar i sneg uleću i u gotovo momentalno nam izazivaju jezu i osećaj hladnoće. Sasvim slučajno jak stimulus hladnoće postaje dominantan u neuronskom sistemu i suspenduje nesvesnu „odluku“ da smanjimo temperaturu sopstvenog tela.

Vremenski okvir između *RP* i pojave svesnog iskustva je toliko veliki da je u potpunosti zamisliv niz situacija zbog kojih nesvesna odluka ne bi postavila svesna. Dok god odluka ne postane svesna postoji mogućnost za njenu suspenziju (mislim na suspenziju donošenja odluke a ne njenog izvršavanja). Sam Libet je mogućnost suspenzije ostavio kao mogućnost za delovanje slobodne volje. Da li se nastanak *RP*-a na nesvesnom nivou može posmatrati kao trenutak u kome je donesena odluka, iako ne samo da se ta odluka nije ostvarila, nego je nismo ni postali svesni? Ja smatram da aktivaciju tih područja možemo posmatrati kao nužan ali ne i dovoljan uslov za donošenje odluke. Ukoliko „odluka“ može biti suspendovana pre nego što postane svesna onda to nije odluka, već možemo da je okarakterišemo u najboljem slučaju kao početak procesa odlučivanja koji se završava u trenutku našeg svesnog iskustva donošenja odluke. Taj početni nesvesni izbor je možda nužan ali ne i dovoljan uslov svesnog donošenja odluke. Da bismo svesnu odluku izjednačili sa *RP*, ona bi morala da sledi iz njega, a kao što smo videli na prethodnom primeru to nije slučaj.

Između ostalog istraživanje koje je sproveo Mark Čerčland (*Mark Churchland*) sa saradnicima, u kome je korišćena metoda praćenja aktivnost pojedinačnih neurona (*single neuron*), ukazuje na to da pripremna aktivnost (*RP*) pojedinačnog motornog neurona nije nešto što se povezuje sa samim pokretom ili njegovom direktnom pripremom, već samo inicijalno stanje „prvi zupčanik u dinamičkoj mašini“. (*Churchland, Kaufman, Ryu, and Shenoy, 2010, str.1*) „Prema tome, jedna interpretacija naših podataka je da pripremna aktivnost ne predstavlja posebne osobine pokreta, već da inicijalizuje dinamički sistem čija će evolucija proizvesti peripokretnu aktivnost.“⁶⁰ (*Churchland, Kaufman, Ryu, and Shenoy, 2010, str.11*)

⁶⁰ Peripokretna aktivnost predstavlja period neposredno pre, tokom i posle pokreta.

Pored slučajeva navodnog kašnjenja svesti prilikom donošenja odluke, hipotezu da svest kasni za događajima na materijalnom (neuronskom) nivou možemo da proverimo i u slučajevima formiranja perceptivnog iskustva objekata. U svom istraživanju Semir Zeki (*Semir Zeki*) ukazuje na masovno asinhrono paralelno procesiranje vizuelnih informacija. (*Zeki, 2015*). Vizuelni sistem nema „časovničara” koji vrši sinhronizaciju, već su procesi kojima se obrađuju vizuelne osobine objekata, poput oblika i boje, vremenski autonomni. Eksperimenti pokazuju da boju opažamo (nesvesno) 40 ms pre nego što opažamo oblik, a 80 ms pre nego što opažamo pokret. Unutar vizuelnog korteksa nema povezivanja atributa čak ni na osnovnom nivou. Povezivanje različitih osobina u jedinstveno vizuelno iskustvo se odvija na višem hijerarhijskom nivou koji obuhvata veći broj moždanih područja poput klastruma, parijetalnog korteksa, frontalnog korteksa i talamusa.

Ako posmatramo striktno dešavanja na neuronskom nivou možemo pomisliti da svesno iskustvo crvene lopte najviše kasni za procesiranjem boje a najmanje za procesiranjem pokreta. Da bi dešavanja na neuronskom nivou odgovarala fenomenalnom iskustvu potrebno bi bilo promeniti objektivni vremenski sled procesiranja. „Stoga, da bismo opazili boju i pokret u istom identičnom momentu, boja bi morala da se predstavi 80 ms pre pravca kretanja, posmatrano u objektivnom vremenu.“ (*Zeki, 2015, str. 3*) Iako svesno iskustvo nije identično sa sledom neuronskih pražnjenja ne možemo reći da ono kasni za njim. Osnovni razlog je to što procesiranje boje, oblika, pokreta i ostalih vizuelnih atributa postaju deo jednog objekta tek na kraju celokupnog procesa. Nešto što se dogodilo na početku procesa u prvih 40 ms (procesiranje boja) postaje deo svesnog iskustva tek nakon nekoliko stotina ms kada dođe do formiranja svesnog iskustva crvene lopte. Pre nego što se proces završi, objekat (crvena lopta), subjektivno ni ne postoji.

Na osnovu svega do sada izloženog vidimo da je teza da svesno iskustvo kasni za neuronskim događajima dovedena u pitanje. Šta više, eksperimentalna evidencija i izloženi argumenti pokazuju da se svesno iskustvo donošenja odluke i percepcije, ne može izjednačiti sa određenim trenutkom, jer svest predstavlja proces, a ne neki određeni trenutak na neuronskom nivou koji smo izdvojili iz celokupnog procesa. Neuronske aktivnosti ne predstavljaju deo koji je autonoman i prethodi svesti, već sve pojedinačne aktivnosti predstavljaju sastavni deo integrisane celine koja prevazilazi njihovu pojedinačnu objektivnu realnost. Posledica toga je emergentno

svojestvo celine koje se ne može opisati preko osobina svojih pojedinačnih delova. Svesno iskustvo je moguće sagledati tek na kraju procesa, i to iz ugla celokupnog procesa.

Pošto proces nije diskretan već kontinuiran, tako i svesno iskustvo nije diskretno, već se koherentnost i kontinuiranost iskustva uspostavlja kao fundamentalne osobine svesti. Zbog toga mi dva objektivno razdvojena događaja doživljavamo kao jedan kontinuirani proces. U ovom slučaju grupa neurona koja se praznila pri pojavi zelenog svetla i grupa neurona koja se praznila pri pojavi crvenog svetla zajedno su učestvovala u formiranju *EM* polja, koje je zatim povratnim petljama delovalo na navedene grupe neurona.

U prilog ovoj tvrdnji idu istraživanja koja pokazuju da su obrasci pražnjenja neurona pod povratnim uticajem *EM* polja. Snimajući lokalni potencijal polja u primarnom vizuelnom području lasica Frelih i Mekkormik su pokazali da endogeno električno polje male snage kroz pozitivnu povratnu spregu (*positive feedback loop*) utiče na oscilatorne aktivnosti neurona. Zahvaljući električnom polju dolazi do modifikacije ponašanja neuronske mreže, gde dolazi do jačanja ritmičke strukture sporih oscilacija . (*Fröhlich and McCormick, 2010*) Oni funkcionalnu ulogu *EM* polja vide u regrutaciji neurona i njihovim povezivanjem u oscilatorne mreže.

Osim njih tu je i grupa japanskih istraživača (*Fujisawa, Matsuki and Ikegaya, 2004*) koji su pokazali da *EM* polje značajno utiče na vreme pražnjenja piramidalnih neurona CA3⁶¹. U odsustvu polja akcioni potencijal neurona je kasnio 38 *ms* u onosu na stimulus i nije postojala sinhronizovana aktivnost veće grupe neurona. U slučaju u kome je postojalo *EM* polje kašnjenje je iznosilo 160 *ms* i došlo je do pojave pravilnih ritmičnih obrazaca aktivnosti. Navedeno istraživanje pokazuje da postoji *top down* uticaj *EM* polja koji se vidi kroz modulaciju obrazaca aktivnosti pojedinačnih neurona. Prema njima delovanje polja na obrasce aktivnosti dovodi do „...novih načina međuneuronske komunikacije posredovane lokalnim električnim poljima, to jest, neuronska sinhronizacija sposobna da deluje na aktivnost pražnjenja drugih neurona.“ (*Fujisawa, Matsuki and Ikegaya, 2004, str. 130*)

Kao što vidimo iz prethodnih istraživanja, *EM* polje ima bitnu ulogu u stvaranju i moduliranju oscilatornih aktivnosti neuronskih grupa. Bez takvih aktivnosti nema ni integracije

⁶¹ CA3 neuroni se nalaze unutar hipokampusa i imaju ulogu u procesu formiranja memorije.

informacija unutar mozga. Popper i Mekkaden takođe podržavaju tezu povratnog uticaja *EM* polja na neurone. Prema njima povratni uticaj omogućava da *EM* polje ima funkcionalnu ulogu i da ne bude samo „duh u mašini“ bez ikakvog uticaja. (McFadden, 2013) Popper smatra da se na fizičkom nivou odvija dvosmerna (*bottom up i top down*) kauzalnost, koja se manifestuje kroz međusobni uticaj *EM* polja i električnih pražnjenja neurona. (Popper, B.I.B Lindahl, and Peter Arhem, 1993)

Delovanjem na svoje konstituenete *EM* polje istovremeno deluje i na njihovu grupnu aktivnost od koje i samo zavisi. Kao što smo već naznačili, na ovaj način dolazi do formiranja neprekidne kauzalne samoreference i nastanka svesnog iskustva.

4.12. Da li je svaki cirkularni kauzalni sistem svestan?

Zamislimo sistem od 5 elemenata (recimo tranzistora) koji su povezani tako da prave kontinuiranu kružnu petlju. Sistem funkcioniše tako da pražnjenje tranzistora *T1* aktivira tranzistor *T2*, koji se zatim prazni i aktivira tranzistor *T3*, *T3* aktivira *T4*, *T4* aktivira *T5*, koji zatim opet aktivira tranzistor *T1*. Proces je cirkularan i odvija se neprekidno. Možemo li onda navedenom sistemu pripisati svest? Odgovor je ne možemo, jer ovakav sistem ne predstavlja ništa drugo do zatvoren *feedforward* sistem. Unutar njega se ni u jednom trenutku ne ostvaruje kauzalna samoreferenca. Kako smo videli, da bi se ona ostvarila potrebno je da unutar sistema postoji međuzavisnost makro i mikro nivoa. Potrebno je istovremeno kauzalno delovanje koje dovodi do gubitka kauzalnog redosleda. U ovom slučaju postoji jasan vremenski redosled.

4.13. Kako model „neprekidne kauzalne samoreference“ odgovara na pitanja koja proizilaze iz empirijske evidencije

Model koji zastupam pokazuje zašto pojam integracije informacije nije dovoljan za objašnjenje svesti. Za analizu možemo koristiti empirijske primere poput epileptičnih napada. Prilikom epileptičnih napada dolazi do prevelike integrisanosti unutar sistema što utiče na gubitak svesti. Naravno i druge teorije informacija imaju objašnjenje zašto se prilikom epileptičnih napada gubi svesno iskustvo. Međutim, *THI* konkretno smatra da čak i tada postoji odedena količina svesti, veoma mala jer je značajno sužen prostor stanja sistema. To međutim nije u skladu sa empirijskim svedočanstvima. Prilikom jakih epileptičnih napada, kao i u

slučajevima dubokog sna, ljudi u svojim subjektivnim izveštajima ne navode postojanje i najmanjeg oblika svesnog iskustva. *TII* tvrdi da se optimalna količina integrisane informacije postiže kada postoji balans između integracije i diferencijacije unutar sistema. Previše integrisan sistem, kao u slučaju epileptičnih napada, bi proizvodio jako male količine integrisane informacije. Međutim, koliko god mala da je u pitanju količina integrisane informacije, mi bismo morali da posedujemo barem nešto što bismo mogli da okarakterišemo kao iskustvo. U slučaju teških epileptičnih napada subjekti ne pripisuju sebi nikavo svesno iskustvo, na isti način kao što ga ne pripisuju ni ljudi koji su bili izloženi totalnoj anesteziji. Prema modelu koji ja zastupam do gubitka svesti tokom jakih epileptičnih napada dolazi usled narušavanja balansa mikro i makro kauzalnih uticaja, a to dovodi do prekida kauzalne samoreference. Smatram da objašnjenje putem kauzalne samoreference uspeva da odgovori na tri stvari. Na naše zdravorazumsko shvatanje svesti, empirijsku evidenciju i kauzalno objašnjenje koje čuva zatvorenost fizičkog sveta.

Sledeće na čemu ću testirati predviđanja modela neprekidne kauzalne samoreference je odnos između sna i svesti. Tokom sna prolazimo kroz različite faze⁶². U *NREM* fazama sna ljudski organizam se nalazi u nesvesnom stanju, dok *REM* fazu sna prati svesno iskustvo. Šta je to što razlikuje ove dve vrste sna i zašto u toku *REM* faze sna imamo subjektivne doživljaje a u drugim fazama nemamo? Istraživanja su pokazala da je moždana aktivnost prisutna tokom svih faza sna. (*Dang-Vu, Schabus, Desseilles, Sterpenich, Bonjean, and Maquet, 2010*) Moždana aktivnost tokom sporotalasnog sna (dubokog sna) je smanjena za oko 40% u odnosu na stanje budnosti, ali ne postoji ni jedan momenat u kome mozak nije aktivan. Ono što u najvećoj meri razlikuje jednu fazu od druge tokom sna jeste dinamika kauzalnih interakcija unutar mozga. Tokom dubokog sna prisutna je povišena sinhronizacija unutar opsega sporih talasa (teta ritmova). (*Dang-Vu, Schabus, Desseilles, Sterpenich, Bonjean, and Maquet, 2010*) Kao i u stanju budnosti postoji tranzicija moždanih aktivnosti, ali ona obuhvata različita područja u odnosu na aktivnosti mozga u svesnom stanju. Tokom *REM* faze sna aktivnost mozga u mnogome podseća na aktivnost tokom stanja budnosti, ali postoje takođe određene razlike u povećanoj i smanjenoj

⁶² Najosnovnija podela sna je na *NREM* i *REM* san. *NREM* san karakterišu dominantno spori talasi (niske frekvencije), dok kod *REM* sna dolazi do smanjenja dominantnog učešća niskih frekvencija i desinhornizovane aktivnosti različitih frekvencija. Sama *NREM* vrsta sna se sastoji od tri faze *N1*, *N2* i *N3*. *N1* i *N2* su faze lakog sna (koje karakterišu talasi u alfa frekvencijskom opsegu 8-13 Hz), dok je *N3* faza dubokog sna, gde dominiraju teta ritmovi (4-7 Hz). (*Chokroverty and Ferini-Strambi (Editors), 2017*)

aktivnosti pojedinih područja. Nesvesne faze sna imaju važnu ulogu u konsolidaciji memorije, očuvanju plastičnosti mozga i kognitivnih sposobnosti. Međutim, najvažnija razlika između *NREM* faze i *REM* faze sna je u tome što u sporotalasnom snu integrisana aktivnost i rekurentna razmena delovanja među područjima mozga ne proizvodi svest.

Kao i u prethodnom slučaju hipoteza prema kojoj se svest povezuje sa cirkularnom kauzalnošću, odnosno neprekidnom kauzalnom samoreferencom, može da objasni zašto tokom *REM* sna imamo svest a tokom *NREM* sna nemamo. U *NREM* snu odnos između pojedinačnih pražnjenja neurona i *EM* polja koje nastaje kao rezultat njihovih oscilacija nije izbalansiran. Celokupan proces se ne nalazi u stanju kauzalne samoreference, gde bi se unutar sistema ostvarivalo kauzalno delovanje koje je u istom trenutku sebi i uzrok i posledica. Tokom *REM* faze sna dolazi do uspostavljanja balansa dve vrste kauzalnosti i uspostavlja se kauzalna samoreferenca.

Treći primer koji ću koristiti jesu slučajevi sa presečenim korpus kalozumom. Iako pojedini neuronaučnici (*Tononi, Koh*) smatraju da postoje okolnosti u kojima jedan mozak može biti mesto unutar koga su realizovane dve svesti, ja smatram da se procesi koji su nam fenomenološki nedostupni ne mogu uzimati za primere svesnog iskustva. U slučaju pacijenata koji su podvrgnuti korpuskalozotomiji, postoji samo jedna svest i ona je ostvarena u levoj hemisferi. Procesiranje unutar desne hemisfere spada u domen nesvesnog. U desnoj hemisferi se očigledno odvijaju visoko diskriminativni kompjutaciono kompleksni procesi ali ih ne možemo ni u kom slučaju nazvati svesnim. Prema modelu koji ja zastupam osnovni razlog zbog koga je desna hemisfera nesvesna jeste to što se nalazi izvan cirkularnog kauzalnog procesa koji omogućava kauzalnu samoreferencu. Očigledno je da je u uobičajenim okolnostima leva hemisfera ta koja može da izvrši potreban proces.

Ovo se pre svega odnosi na procese koji su zahtevali od pacijenata verbalne izveštaje. Budući da se jezička područja nalaze u levoj hemisferi, svaki put kada je od njih tražen verbalni izveštaj leva hemisfera je bila dominantna. U drugim slučajevima kada je pred njih postavljen zahtev za prepoznavanjem lica, desna hemisfera je bila dominantna, jer ona ima veću udeo u procesu prepoznavanja lica. Slučajevi iz kliničke prakse pokazuju da je moguće da osoba funkcioniše normalno, sa veoma malim smetnjama, bez posedovanja jedne hemisfere (bez obzira

da li je u pitanju leva ili desna hemisfera). Iako su se tokom filogeneze glavna područja za jezičke i simboličke sposobnosti razvila u okviru leve hemisfere, zahvaljući plastičnosti mozga moguće je da u nedostatku leve (kliničkim otklanjanjem) desna hemisfera u potpunosti zameni i razvije navedene sposobnosti. (*Sidtis, 2004*) (*Khadem, Carr, Isaacs, Brett, Adams and Mishkin, 1997*) Osobe sa Rasmusenovim sindromom, kojima je odstranjena cela hemisfera, imaju bogato i u potpunosti razvijeno svesno iskustvo.

U slučajevima u kojima dve hemisfere funkcionišu kao razdvojene celine, u zavisnosti od kognitivnog zahteva jedna hemisfera ima primat u formiranju svesnog iskustva. U uobičajenim okolnosti to je leva hemisfera, mada kao što sam iznad napomenuo određeni kognitivni zahtevi dovode do dominacije desne hemisfere. *Gazaniga (Gazzaniga, 2008)* smatra da je leva hemisfera interpretator koji donosi red i smisao u haotične informacije. Međutim, videli smo da i desna hemisfera u nedostatku leve može biti „interpretator“, što nas upućuje na zaključak da u levoj hemisferi ne postoji ništa zbog čega bismo sposobnost posedovanja svesti isključivo vezivali za nju. Dosadašnja istraživanja ne pokazuju da u levoj hemisferi postoji nešto posebno, nezavisno od procesiranja informacija i učestvovanja u cirkularnoj kauzalnoj petlji (*top down, bottom up*) a što bi bilo povezano sa svesnim iskustvom. Takođe je važno napomenuti da se simboličke sposobnosti i upotreba jezika ispostavljaju kao jako bitan ako ne i ključan faktor u nastanku svesti višeg reda, ali svesno iskustvo može postojati i bez posedovanja jezičko-semantičkih sposobnosti. Osobe kojima su oštećena jezička područja (Brokino i Vernikeovo) nesposobne su da razumeju značenje i govor kao i da ga proizvode, ali i pored toga poseduju svesno iskustvo. Osim toga, opravdano pretpostavljamo da barem neke vrste životinja (koje ne poseduju jezičke sposobnosti) takođe mogu da poseduju fenomenalno iskustvo koje se karakteriše kao primarna svest. Na osnovu prikazanog možemo da kažemo da unutar leve hemisfere ne postoji nešto što bi se nužno povezivalo sa posedovanjem svesti, već da se u slučajevima radikalne razdvojenosti hemisfera, u zavisnosti od kognitivnog zadatka, jedna hemisfera formira jaku vezu sa retikularnom sistemom i gradi podsistem unutar koga se stvara *NKS*.

Ovakav proces je verovatno moguć samo u mozgovima jednog dela životinja, jer je kod njih neuronski sistem dovoljno razvijen da se kroz interakciju globalnih elektromagnetnih polja i pojedinačnih pražnjenja neurona ostvari kauzalna samoreferenca. Videli smo da rešenje koje ja zastupam daje objašnjenje kako istovremeno postoje nesvesni procesi koji poštuju striktnu *bottom*

up kauzalnosti i svesni kod kojih postoji dvosmerna *top down* i *bottom up* kauzalnost. Kada se ova dva kauzalna smera nalaze u balansu nastaje svest.

4.14. Koji materijalni sistemi i oblici života mogu imati svest?

Kao što smo videli, samoreferentnost svesti nastaje kao osobina neuronskog sistema da kroz cirkularne kauzalne petlje deluje povratno na sopstvene konstitutivne elemente. Na taj način sistem interpretira sopstvena stanja (osobina samoreferencijalnosti) Prema hipotezi *NKS* samo oni sistemi, ili delovi sistema, koji su sposobni za cirkularnu kauzalnost (istovremenu *bottom up* i *top down* kauzalnost) mogu da proizvedu svojstvo svesti. Ali postoji nekoliko pitanja na koje *HNKS* mora da odgovori kako bi bila odgovarajuća teorija svesti. Pitanja su sledeća: Da li je neuronski sistem jedini sistem u kome se stvara cirkularna kauzalnost? Ukoliko postoje drugi sistemi unutar kojih takođe postoji cirkularna kauzalnost, da li to povlači da su i oni svesni? Da li je cirkularna kauzalnost dovoljan uslov za neprekidnu kauzalnu samoreferencu koju prema *HNKS* predstavlja svest? Da li sve životinje koje poseduju neuronski sistem poseduju i neki oblik svesti?

U drugom odeljku smo videli da su emergentni fenomeni koji nastaju kroz kompleksnu kritičnu dinamiku raspostranjeni u materijalnom svetu. Ali da bi sistem posedovao svojstvo svesti on mora da ima nešto više od sposobnosti za samoorganizaciju i dvosmernu (*bottom up*, *top down*) uzročnost. U suprotnom bismo mogli svest da pripisemo gomilama sa peskom, feromagnetnim materijalima ili jatima ptica. Količina kompleksnosti koju možemo da nađemo u živim organizmima značajno prevazilazi kompleksnost pomenutih sistema. „Glavne evolutivne promene u istoriji života na zemlji uključuju prelazak sa nekodirane na kodiranu informaciju (poreklo genetskog koda), prelazak sa prokariota na eukariote, prelazak sa jednoćelijskih na višećelijske organizme i prelazak sa grupe primata na lingvističke zajednice.“ (*Walker, Cisneros and Davies, 2012*) Usložnjavanje organizama podrazumeva povećanje njihove kompleksnosti, koja sa sobom nosi povećanu količinu informacija koja se razmenjuje i čuva unutar organizama.

4.15. Da li je neuronski sistem jedini sistem u kome se stvara neprekidna kauzalna samoreferenca?

Postoji veći broj autora koji cirkularnu kauzalnost dovode u vezu sa samoorganizujućim sistemima. Jedni od njih su i Maturana i Varela koji su preko pojma autopoezisa zastupali stav

da su fundamentalne osobine svih bioloških sistema njihova autonomija, organizaciona i operacionalna zatvorenost. Čak i najbazičniji jednoćelijski organizmi imaju osobinu samoobnavljanja, samoregulacije i reprodukcije. Princip samoorganizacije podrazumeva recipročan uticaj i cirkularnu kauzalnost. Da li to onda znači da u nekom smislu i najprostijim živim organizmima poput jednoćelijskih možemo pripisati svest?

Sve žive sisteme karakteriše veća ili manja autonomija, koja podrazumeva samoodređenost sistema, njegovu funkcionalnu i organizacionu nezavisnost i sposobnost definisanja ciljeva nezavisno od okruženja. Unutar bioloških sistema vlada emergentna samoorganizacija. Zastupnici proširene kognicije su pokazali da između okruženja i neuronskog sistema postoji uzajamna zavisnost, cirkularna kauzalnost preko akcija percepcija petlji. Međutim, to nije dovoljno jak razlog da bismo svest proširili izvan neuronskog sistema. To nam sugeriše da sama cirkularna kauzalnost nije dovoljna da bismo je izjednačili sa neprekidnom kauzalnom samoreferencom. Autopojezis kao svojstvo sistema ne povlači sa sobom NKS. Klark koristi pojam kontinuirane recipročne kauzalnosti, čime opisuje uzajamnu uslovljenost sistema i okruženja. Tako posmatrano i jednostavni jednoćelijski organizmi unutrašnju organizaciju i razmenu informacija prilagođavaju spoljašnjim okolnostima (poklapanje kompleksnosti) ali svojim delovanjem utiču i sami na ulazne signale koje dobijaju iz okruženja. Prema Klarku kompleksnu recipročnu kauzalnu uslovljenost možemo da pripišemo i džez triju prilikom improvizacije. (Clark, 1997) Mnoge aktivnosti podrazumevaju modularnu dinamiku, gde je grupno makro svojstvo oblikovano međuosobnom uslovljenošću komponenata koji učestvuju u njemu. Priroda kauzalnog uparivanja elemenata je od suštinskog značaja za nastanak određene vrste emergentnog svojstva. Cirkularna kauzalnost je preduslov za nastanak neprekidne kauzalne samoreference, ali ona mora da traje dovoljno dugo da bi se formiralo stanje samoreferentnosti u kome postoji potpuna međusobna uslovljenost sistema i elemenata. Osnovna razlika između samo uparenih sistema, u kojima postoji recipročan uticaj i razmena informacija, i svesnih sistema jeste to što unutar svesnih sistema cirkularna kauzalnost u potpunosti zatvorena, postoji dugotrajno stanje u kome celina u potpunosti reprezentuje delove od kojih je sačinjena. U slučaju plesne grupe, jata ptica ili jednoćelijskih organizama, ne dolazi do formiranja procesa koji bi omogućio da celina u jednom istom vremenskom periodu deluje na sastavne elemente koji je čine i u istom tom periodu grade. Zbog svoje arhitekture smatram da jednoćelijski organizmi nisu u

stanju da formiraju neprekidnu kauzalnu samoreferencu iako ćelija kao celina ostvaruje recipročne kauzalne veze i sa okruženjem i sa svojim sastavnim elementima.

Sada dolazimo do pitanja da li ima nešto u neuronskom sistemu što ga čini posebnim i što mu omogućava da proizvodi neprekidnu kauzalnu samoreferencu. Ja verujem da iako cirkularna kauzalnost postoji i na ćelijskom nivou, tek kada je ona primenjena na nivou neuronskog sistema ona može da proizvede proces koji dovodi do neprekidne kauzalne samoreference. Ovako posmatrano cirkularna kauzalnost je nužan ali ne i dovoljan uslov za nastanak NKS.

4.16. Da li sve životinje koje poseduju neuronski sistem poseduju i neki oblik svesti?

Osnovna pretpostavka je da su kognitivne sposobnosti, uključujući i sposobnost svesnog iskustva, zavisne od neuronskog supstrata. Ispred nas se postavljaju dve mogućnosti, ili svest možemo pripisati svim bićima koje poseduju nervni sistem, ili ih možemo ograničiti na određeni segment životinja. Druga alternativa od nas zahteva dodatno objašnjenje. Šta je drugačije u neuronskom supstratu grupe životinja koja ima kapacitet za mentalno iskustvo? Zbog toga bi početna tačka u analizi trebalo da bude utvrđivanje osnovnih činjenica vezanih za osobenosti mozga i njegove arhitekture među različitim životinjskim vrstama.

Ljudski mozak nije najveći mozak na planeti (posmatrano po zapremini). Životinje poput plavog kita ili slona imaju znatno veći mozak. Dugo je važno uverenje da se broj neurona povećava sa povećanjem veličine mozga životinje. Zbog toga su procene broja neurona kod većih vrsta (npr. kitova, slonova) vršene na osnovu pretpostavke da se sa veličinom mozga linearno povećava i broj neurona. Međutim, istraživanje koje je sprovedla Herkulano (*Herculano, 2008*) donelo je rezultate koji su suprotni sa do tada uvreženim mišljenjem. Herkulano je pokazala da ljudski mozak, kao i mozak ostalih primata, iako manji po volumenu sadrži veći broj neurona. Poređenja radi mozak slona sadrži (23 milijarde neurona) a mozak čoveka (86 milijardi). Veći broj neurona u manjem mozgu primati (pre svega čovek) duguje ekonomičnom, gušćem pakovanju neurona koje je omogućeno kroz povećanje njegove savijenosti (zgužvanosti).

Ali kao što smo imali prilike da vidimo, sposobnost neuronskog sistema da proizvede svest nije zavisno isključivo od broja neurona. Slučajevi pokazuju da čovek čak i kada ostane bez 2/3 neurona (cerebelum) može da bude u potpunosti funkcionalan i svestan. Ako bismo prostom

matematikom izračunali koliki broj neurona ljudski mozak ima bez cerebeluma, videli bismo da je taj broj blizak broju neurona u kompletnom mozgu slona. Ovo nam sugeriše da je za svest potrebno nešto više od masovnog broja neurona unutar mozga. Arhitektura i način procesiranja informacija unutar njega takođe utiču na njegov funkcionalni kapacitet. „...funkcionalni kapacitet neuronske strukture je inherentno ograničen njegovom neuronskom arhitekturom i vremenom za procesiranje signala.“ (Hofman, 2014)

Svaki organizam koji poseduje neuronski sistem, poseduje određenu kompleksnost, koja se ispoljava u vidu specifičnih kognitivnih funkcija, sposobnosti za diskriminaciju i adaptivnog ponašanja. Neka od pitanja na koja je potrebno odgovoriti su: kakva je razlika u neuronskom supstratu (osim broja neurona) između različitih vrsta i kolika je minimalna kompleksnost neuronskog sistema da bi mogao da proizvede svest (kauzalnu samoreferenciju)?

Meduze mogu ispoljavati reakcije na stimulse iz okruženja, ali poput biljaka, fotodioda, termostata ili autonomnih vozila na bazi veštačke inteligencije, takvo ponašanje može biti protumačeno kao automatska reakcija koja poštuje zadati algoritam. Ovakvo ponašanje ne bismo povezali sa svesnim iskustvom. Prvobitno se smatralo da je arhitektura neuronskog sistema *Hidre vulgaris* (vrste meduza), koji sadrži nešto više od 5,000 neurona, oblika najprostije neuronske mreže. Međutim, poslednja istraživanja pokazuju da je njen neuronski sistem podeljen na tri funkcionalno specijalizovane neuronske grupe, gde svaka od grupa upravljaju posebnim aspektima ponašanja, poput usmeravanja tela prema hrani ili svetlosti. U najbazičnijem smislu ovaj neuronski sistem poseduju funkcionalnu specijalizaciju i integrisanu globalnu aktivnost. (Dupre and Yuste, 2017) Međutim, to nije dovoljno za nastanak i održavanje složenijih kognitivnih funkcija i same svesti. Kompleksnost kauzalnih interakcija unutar neuronskog sistema *Hidre vulgaris* nije dovoljna da pređe prag u kome bi se formirala neprekidna kauzalna samoreferenca.

Pčele takođe imaju razvijen neuronski sistem koji sadrži oko 960,000 neurona (Giurfa and Menzel, 2003) i sastoji se iz anatomski podeljenih i funkcionalno specijalizovanih područja zaduženih za obrađivanje različitih vrsta senzornih informacija. Vizuelni sistem pčelama omogućava da razlikuju boje, oblike i prostorne obrasce, a olfaktorni sistem im omogućava da osete širok spektar mirisa. Integrativna aktivnost različitih modularnih područja omogućavaju

pčeli kompleksno ponašanje, poput rešavanja problema prostorne navigacije. Kompleksno ponašanje pčela je naročito vidljivo prilikom komunikacije korišćenjem telesnih signala „igre klaćenja“ (*waggle dance*). Preko „igre“ one su u stanju da prenesu precizne instrukcije koloniji o okruženju, lokaciji, pravcu, daljini, poželjnosti hrane, itd. Za tako mali broj neurona unutar mozga pčele ispoljavaju iznenađujuće društveno ponašanje, što nas navodi na misao da možda i one imaju neki oblik fenomenalnog iskustva.

Vidljive su sličnosti u efektima evolucije na kognitivne funkcije između sisara i manje grupe ptica (vrane, svrake, papagaji, a poznate su još neke vrste ptica sa sličnim kognitivnim kapacitetima). (*Lefebvre, Reader and Sol, 2004*) Mari Šanahan (*Murry Shanahan*) smatra da su golubovi sličniji sisarima mnogo više nego što mislimo. (*Shanahan, 2013*) Za razliku od drugih životinjskih vrsta i klasa, primati i manja grupa ptica izvršavaju kompleksnije kognitivne zadatke i ispoljavaju fleksibilnije ponašanje. Jedino pojedine vrste ptica i sisara koriste „alate“ iz okruženja kako bi rešili problem. Komparativna neuroanatomija mozga i neuroekologija navedenih vrsta ukazuju da su kognitivne sposobnosti sisara i ptica podržane neuronskom arhitekturom, koja je formirana kao posledica prilagođavanja organizma okruženju (ekoniši). Evolucionarni putevi sisara i ptica razdvojili pre oko 300 miliona godina nakon čega je nastavljen paralelni razvoj kortikalnih struktura, koji je doveo do različite morfologije mozga, ali je njihova neuronska arhitektura sledila slične principe povezivanja.

U drugom odeljku je bilo govora o značaju vrste mreže unutar kojih se obavlja procesiranje informacije, gde je pokazano da mozak sisara počiva na arhitekturi „mali svet“ koja omogućava informacione procese visoke kompleksnosti, kao i robusnost celokupne neuronske mreže. Istraživanje koje je sproveo Šanahan (*Shanahan, Bingman, Shimizu, Wild and Güntürkün, 2013*) pokazuje da i mozak ptica počiva na arhitekturi „mali svet“. Ako uz takvu arhitekturu uzmemo i činjenicu da je i sam broj neurona kod nekih vrsta ptica kakva je papagaj „ara ararauna“ veći nego kod mnogih sisara onda sa punim pravom možemo razmišljati o pripisivanju primarne svesti i pticama⁶³.

⁶³ Ara ararauna ima 3,1 milijardi neurona (*Olkowicza, Kocourek, Lucan, Porteš, Fitch, Herculano-Houzel and Nemeč, 2016*), a svinja oko 2,2 milijarde (*Kazu, Maldonado, Mota, Manger and Herculano-Houzel, 2015*).

Osim sisara i nekih vrsta ptica, postoje i druga bića čiji mozak ima visoko razvijeni neuronski sistem. U takva bića spadaju i cefalopodi. Oktopod, cefalopod sa najrazvijenijim neuronskim sistemom, je životinja koja ima najveći mozak ako ga poredimo sa veličinom tela. On ima drugačiju neuronsku organizaciju u odnosu na kičmenjake, ali njihov neuronski sistem ispoljava slične funkcionalne karakteristike. Kod oktopoda možemo naći strukture koje su po funkciji slične cerebralnom korteksu, hipotalamusu, talamusu, bazalnim ganglijama, cerebelumu i drugim strukturama karakterističnim za kičmenjake. (*Shigeno, Andrews, Ponte and Fiorito, 2018*) Neuronski sistem oktopoda je jedinstven u životinjskom svetu budući da sadrži 9 mozгова koji su raspoređeni na 9 lokacija unutar tela. Glavni mozak se nalazi u glavi a preostalih 8 u pipcima. Periferni mozak (koji se nalazi u pipku) služi za kontrolisanje pokreta pipka i omogućava mu autonomno kretanje nezavisno od ostatka tela. Sistem sadrži 500 miliona neurona koji obrazuju kompleksnu mrežu sposobnu za paralelno procesiranje i rekurzivnu razmenu informacija. Oktopodi su kao životinje poznati po sposobnosti da se brzo prilagođavaju svom okruženju⁶⁴, a osim toga poseduju više kognitivne funkcije poput višeg oblika učenja i donošenja odluka. Kompleksnost neuronskog sistema oktopoda i sposobnost za inteligentno ponašanje dovodi u pitanje pretpostavku da se svest može pripisati samo sisarima i nekim vrstama ptica.

4.17. Šta razlikuje ljudski neuronski sistem od neuronskih sistema drugih životinja?

Dugo se pretpostavljalo da je jedan od glavnih razloga zbog kojih ljudi imaju razvijenije kognitivne funkcije u odnosu na druge životinje veličina cerebralnog korteksa (pre svega prefrontalnog korteksa) i broj neurona koji se nalazi u njemu. Iako korteks čoveka čini 82% moždane mase unutar njega se nalazi 19% neurona. Istraživanja su pokazala da je odnos između broja neurona u korteksu i ukupnog broja neurona u mozgu kod ljudi sličan kao i kod nekih drugih životinja poput miševa kod kojih taj broj iznosi 17%. (*Herculano, 2008*)

Prostor koji zauzima siva materija, koja je sačinjena od tela neurona i dendrita koji omogućavaju lokalnu povezanost, povećava se linearno sa povećanjem volumena mozga. Međutim, volumen bele materije, aksona, koji omogućavaju povezanost udaljenijih neuronskih grupa ne povećava se linearno sa povećanjem volumena mozga životinje. Veći mozak ne

⁶⁴ Cefalopodi su jedine životinje koje poseduju *IGNS* - *image generating neuromuscular system*.

podrazumeva veći volumen bele materije koja se ispostavlja kao kritična za povećanje neuronske kompleksnosti. Rast veličine mozga kod ljudi i drugih životinja ne prati linearno skaliranje. Da bi mozak glodara sa svojom arhitekturom i morfologijom imao isti broj neurona koji ima ljudski mozak (86 milijardi) morao bi da zauzima mnogo veću zapreminu i masu (35 kg). (*Herculano, 2008*)

Neuroanatomska istraživanja koja je sproveo Diner (*Deaner*) sa saradnicima ukazuju da kognitivni kapacitet životinje ne zavisi samo od prefrontalnog korteksa već od ukupnog broja neurona u celom mozgu i međusobne povezanosti moždanih područja. „Ovi rezultati sugerišu da je funkcionalna integracija različitih moždanih regiona toliko jaka da je mozak kao celina relevantna jedinica za kognitivnu performansu.“ (*Deaner, 2007, str. 121*) Kao jedinstvena i najviša mentalna sposobnost, svest nije u korelaciji samo sa brojem neurona u mozgu već i sa načinom na koji su oni međusobno povezani. Neuronska arhitektura „mali svet“ koju možemo naći kod sisara, a videli smo da postoji i kod ptica, stvara optimalnu povezanost među neokorikalnim područjima, povezujući tako rekurzivnim konekcijama primarna senzorna područja sa asocijativnim, čime je omogućena multimodalna integracija informacija. Na ovaj način mozak sisara i ptica ostvaruje veći kapacitet procesiranja informacija u odnosu na druge vrste životinja. (*Rilling, 2006*) Da bi se pojavila svest u nekom sistemu, potrebno je prvo da sistem uopšte ima kapacitet za formiranje NKS, a onda da ona i defakto bude ostvareno kroz proces cirkularnih kauzalnih petlji. Dobar primer je stanje dubokog sna, kada sistem poseduje kapacitet za formiranje NKS ali zbog lokalizacije procesa tokom sna kauzalne interakcije se ne šire kroz sistem i ne formira se NKS.

Strukturalna i funkcionalna analiza neuronskog sistema životinja pokazuje da veliki broj vrsta, ne samo viši primati, poseduje kapacitet za formiranje neprekidne kauzalne samoreference. Razlika u svesnom iskustvu ljudi i životinja je, kao što je već više puta naznačeno, u tome što su kod ljudi unutar NKS prisutne i informacije iz neuronskih struktura koje podržavaju planiranje budućih radnji i sećanje na prošle događaje pa je stoga moguć i viši oblik svesti.

Najverovatnije samo neuronski sistem sisara i ptica ima dovoljnu kompleksnost da podrži neprekidnu kauzalnu samoreferencu. Iako je unutar jednostavnijih oblika života, počevši od jednoćelijskih organizama pa do nekih vrsta životinja, prisutna cirkularna kauzalnost koja

pomaže strukturalnoj i funkcionalnoj autonomiji, takvi sistemi nisu u staju da podrže neprekidnu interpretaciju unutrašnjih stanja predstavljanu u vidu *NKS*. Nije u pitanju samo količina informacije koja se razmenjuje i integriše unutar sistema, već razlika u informacionoj strukturi koja je u slučaju *NKS* izražena kroz u potpunosti zatvoren kauzalni uticaj.

Smatram da se svest javila kasno tokom evolucije i da je možemo pripisati sisarima i moguće još određenim vrstama ptica (svrakama, vranama, papagajima i sovama). Iako postoje drastične strukturalne razlike u neuronskim sistemima između sisara i ptica, evolucija neuronskog sistema se paralelno realizovala u dve različite morfologije i arhitekture unutar kojih je moguće ostvariti iste kognitivne sposobnosti i funkcije. Kao što smo videli, između mozga sisara i ptica postoje sličnosti koje se vide u načinu na koji su povezana različita područja korteksa sa limbičkim strukturama i retikularnim sistemom. Sama struktura tih područja je različita između ove dve klase životinja, ali vidljiva je sličnost u umreženosti i dinamici procesiranja informacija.

4.18. Da li se *NKS* može instancirati preko različitih kauzalnih petlji?

Kada smo analizirali teoriju dinamičkog jezgra pokazali smo da je degenerativnost jedna od karakteristika fizičkih sistema. Možemo je naći kod *DNK*-a lanaca, u neuronskom sistemu, imunološkom sistemu, itd. Degenerativnost je vidljiva i kod svesnih stanja, svesno iskustvo (npr. crvene jabuke) je instancirano različitim neuronskim grupama u različitim trenucima. Isti stimulus u dva različita slučaja će proizvoditi drugačije obrasce neuronskih aktivnosti. Obrasci će biti slični u velikoj meri, ali neće biti identični. (*Edelman and Tononi, 2000*) Sve ovo nas vodi zaključku da je se jedinstvena neprekidna kauzalna samoreferenca može ostvariti unutar sistema na više načina, kao i da može biti implementirana preko različitih vrsta fizičke baze.

4.19. Da li se *NKS* može formirati u veštačkim sistemima?

HNKS je u potpunosti nezavisna u odnosu na realizacijsku bazu. U tom smislu ona ne isključuje mogućnost nastanka svesti u veštačkim sistemima koji bi posedovali veštačku inteligenciju. Ono što je važno jeste da realizacijska baza i kauzalna petlja mora da se odvija na fizičkom nivou a ne na virtuelnom. Ako bismo pokušali da napravimo simulaciju neprekidne kauzalne samoreference ne bismo dobili realnu svest, već samo simuliranu svest. Isto tako simulacijom velikog praska ne bismo dobili realan veliki prasak, već njegovu predstavu za

posmatrača. Da bi veštačka inteligencija imala svest potrebno je da realizacijska baza podržava cirkularne kauzalne petlje, da omogući istovremeno delovanje *top down* i *bottom up* kauzalnosti. *Top down* kauzalnost koja polazi od makro nivoa može da bude realizovana na mnogobrojne načine, u različitim realizacijskim bazama (fizičkim sistemima), ali takođe i u različitim mikro stanjima u okviru istog sistema. (Ellis in Aguirre, Foster and Merali (eds.), 2015) Budući da je veštačka inteligencija zasnovana na električnoj realizacijskoj bazi, jedan od pravaca istraživanja bi mogao da bude konstrukcija kompjucionog električnog sistema koji bi podržavao navedena svojstva. U tom smeru ide i konekcionizam kao pravac u neuronauci koji već decenijama pokušava da formira veštačke neuronske mreže po uzoru na one koje možemo da nađemo u mozgu životinja i ljudi.

Da bi se mogla proveriti *HNKS* potrebno je razviti metodologiju i tehnologiju kojom bi se merili dinamički procesi unutar rekurzivnih kauzalnih mreža visoke kompleksnosti (poput mozga sisara ili ptica). Dalja istraživanja bi trebalo usmeriti ka utvrđivanju minimalnih uslova za formiranje *NKS*, kao i načina realizacije povratnih informacionih petlji unutar mozga različitih vrsta. Trenutno nauka još nije dovoljno razvijena da bi u potpunosti ispratila interakciju u toliko kompleksnom sistemu kakav je mozak sisara. Dok se unutar nauke ne ostvari dovoljan napredak po pitanju merenja kauzalnih interakcija pojedinačnih neuronskih sistema različitih vrsta, čime bi se definitivno mogao dati sud o njihovoj sposobnosti da stvore cirkularne kauzalne petlje, i dok se ne da formalnija definicija *NKS* po ugledu na pojam integrisane informacije u *TII*, ostaje mogućnost da se svest može pripisati i drugim bićima poput oktopoda, koji, kao što smo videli, ima veći broj neurona od mnogih sisara (500 miliona) i arhitekturu koja podržava stvaranje informacionih konfiguracija visoke kompleksnosti. Dakle, merenje cirkularne kauzalnosti koja utiče na formiranje neprekidne kauzalne samoreference podrazumeva vremensko i prostorno praćenje interakcija u visokoj rezoluciji.

Zaključna razmatranja

Analizirajući hipoteze savremenih neuronaučnih teorija, koristeći empirijske podatke prikupljene kroz kliničku praksu i eksperimente, kao i podatke dobijene kompjuterskim simulacijama, ovaj rad je za cilj imao da pokaže koliko neurobiološki pristupi svesti i moderna neuronauka mogu da doprinesu razumevanju problema svesti. Koristeći se teorijom dinamičnih sistema pokušali smo da objasnimo mehanizame koji prate i uzrokuju svesna stanja (lak problem), ali takođe su implikacije navedenih teorija proveravane i u odnosu na filozofski zanimljivije pitanje (težak problem). Zašto su fizički procesi uopšte praćeni iskustvom? Smatram da je empirijski pristup mehanizmima koji stoje u korelaciji sa svesnim iskustvom od velike važnosti za dalje izučavanje svesti, jer nam svako novo istraživanje i provera hipoteza omogućava da svest bar iz naučnog ugla shvatimo bolje.

Neurobiološki pristupi otvaraju različite mogućnosti. Da li zaroniti u fundamentalnu materijalnu osnovu prirode pa u njoj tražiti bazične elemente iskustva (raselovski monizam, panprotopsihizam, sveiskustvenost), što na neki način pokušava da uradi *ORCH OR* teorija, ili se može pronaći neko objašnjenje koristeći se osnovnim materijalističkim pojmovima? Prvi pristup nas vodi u revidiranje fizike kakvu do sada znamo (ili prošireno korišćenje ideja iz kvantne mehanike). Drugi pristup od nas zahteva pronalazak veze između svesti i fizičkog sveta. U ovom radu ja sam zastupao drugi pristup gde sam pokušao da problem subjektivnosti objasnim koristeći se materijalističkim pojmovnim okvirom.

Napredak nauke i mogućnosti istraživanja mozga su u poslednjih nekoliko decenija poljuljali naše osnovne intuicije po pitanju odnosa svesti, mozga i organizma. To pogotovo važi za domen neuronskih supstrata i fizičke osnove svesti. Kroz mnogobrojne primere iz prakse mogli smo da vidimo koje funkcije, kognitivna stanja i delovi mozga nisu nužni za nastanak svesti. Sada ću ukratko sumirati rezultate tih istraživanja.

- Svest ne zahteva ponašanje. U toku *REM* faze sna smo svesni ali je motorički sistem inhibiran. Takođe postoje slučajevi pseudokome, sindroma zaključanosti (*Locked In*

Syndrom), gde je osoba svesna u potpunosti svega što se dešava oko nje ali u najtežima slučajevima ne daje ni najmanji bihevijoralni signal.

- Svest može da postoji bez emocija. Zabeležen je slučaj vojnika koji je prilikom eksplozije ostao bez obe noge i koji je pored toga pretrpeo oštećenja delova mozga zaduženih za procesiranje emocija. Nakon operacije vojnik je mogao da oseća bol ali nije imao emocionalne reakcije. Bio je indiferentan prema svom stanju invaliditeta usled oštećenja struktura odgovornih za emocionalno procesiranje. (*Koch, 2012*)
- Svest ne zahteva selektivnu pažnju. Postoje barem dva odvojena sistema pažnje. Automatski (odozdo na gore) sistem pažnje može biti aktivan i procesirati predmete i događaje iz okruženja a da toga nismo svesni. (*Baars, 2010*) (*Dehaene and Naccache, 2001*)
- Svest ne zahteva upotrebu jezika. U ranima fazama života deca nemaju razvijene jezičke sposobnosti, pa im opet pripisujemo svesnost. Takođe neki pacijenti usled moždanog udara gube jezičku sposobnost a i dalje poseduju svest.
- Svest ne zahteva dugoročnu memoriju. To se najdirektnije može videti kod osoba sa amnezijom. Primer je pacijent označen kao *RB* koji je zbog bolesti imao oštećenja temporalnih delova mozga, većeg dela kore velikog mozga kao i unutrašnjih struktura amigdale i hipokampusa. Oštećenja su gotovo u potpunosti oštetila njegovu dugoročnu memoriju. Od svega što je proživeo ostalo mu je svega nekoliko sećanja, poput toga da je rođen u Ajovi. Druga sećanje poput toga da ima decu, poseduje kuću bila su mu nedostupna. Osim retrogradne amnezije imao je i anterogradnu amneziju. Izgubio je sposobnost učenja novih stvari i imao je kratkoročnu memoriju od svega 40 sekundi. Damasio je zabeležio niz kliničkih slučajeva koji pokazuju u kojoj meri različite vrste problema u memorijskom sistemu (prolazna globalna amnezija, retrogradna amnezija, anterogradna amnezija) utiču na promenu u mentalnom stanju čoveka, i kako, i pored ozbiljnog narušavanja memorijskog sistema, takve osobe uspevaju da budu svesne. (*Damasio, 2000*)
- Svest nije direktno zavisna od broja neurona u neuronskom sistemu. Slučaj Kineskinje sa cerebelarnom agenezijom pokazuje da je ona u stanju da normalno funkcioniše i pored toga što joj nedostaje 2/3 svih neurona u mozgu. (*Yu, Jiang, Sun and Zhang, 2015*)

Takođe, svest može nastati samo u jednoj cerebralnoj hemisferi. Videli smo da osobama sa Rasmusenovim encefalitisom fali cela hemisfera mozga, a one i dalje poseduju svest. (*Baars and Gage, 2010*) Takođe zabeležen je i slučaj Francuza kome su moždane komore zauzimale veći deo mozga. Od moždanih struktura ostalo mu je stablo i deblji deo moždane kore. I pored oštećenja tolikog opsega on je imao porodicu, i bez većih teškoća je obavljao svakodnevne aktivnosti. (*Feuillet, Dufour, Pelletier, 2007*)

- Sadržaj svesnog iskustva nije u potpunosti povezan sa pojedinim područjima mozga. Istraživanja na lasicama, koje je sprovela Mriganka Sur pokazuju da je moguće da delovi mozga koji obrađuju signale iz jednog čula preuzmu ulogu delova mozga koji obrađuju signale od drugih čula. (*Sur, Angelucci and Sharma, 1999*)

Navedene činjenice ukazuju da svest nije posledica neuronske interakcije unutar nekog lokalizovanog područja mozga, niti je ona posledica delovanja specijalne vrste neurona, niti zavisi isključivo od broja neurona unutar mozga. Takođe je ne možemo vezati za pojedine kognitivne sposobnosti, poput pažnje ili memorije.

Svest je svojstvo kompleksnih sistema sa kritičnom dinamikom

Danas gotovo svi neurobiološki modeli svesti prihvataju pretpostavke i pojmove teorije dinamičkih sistema. Celokupna dosadašnja empirijska evidencija sugerise da je svest fenomen koji obuhvata mnogobrojna moždana područja poput *ERTAS*⁶⁵ (*Baars, 1988*). Za nastanak svesti zaslužna je jedinstvena neuronska arhitektura (mali svet) koja podržava nelinearnu dinamiku procesiranja. Zahvaljujući tome sistem unutar samog sebe može stvoriti cirkularnu kauzalnost, što je od ključnog značaja za nastanak svesti. Istraživanja koje je sproveo Plenz (*Plenz and Niebur, 2014*) ukazuju da mozak funkcioniše u režimu na ivici kritičnosti, čije delovanje može imati nelinearne rezultate i da je kao takav sposoban za stvaranje emergentnih fenomena.

Takođe smo videli samo da je mozak sistem koji karakteriše sposobnost da integriše veliku količinu informacija, čime je obezbeđeno da sistem funkcioniše kao jedinstvena celina, ali istovremeno ga karakteriše i velika fleksibilnost, pa je moguće imati neprebrojivo mnogo stanja sistema od kojih su neka praćena svesnim iskustvom. Optimalno stanje u kome sistem može da funkcioniše kao celina, a da istovremeno bude jako informativan, naziva se metastabilno stanje.

⁶⁵ *ERTAS* – *Extended Reticular-Thalamic Activating System*.

U takvom stanju mozak se nalazi u balansu između funkcionalne integracije i funkcionalne segregacije. Svest je sposobnost koju mozak stiče tokom vremena, koja nastaje kada se u sistemu uspostave odgovarajuća mrežna arhitektura i funkcionalna povezanost.

Kompleksni sistemi imaju hijerarhijsku strukturu u kojoj viši i niži nivoi utiču jedni na druge na različitim prostornovremenskim skalama. Zbog međusobne povezanosti viših i nižih nivoa sistema, moguće je da se lokalni uticaj među elementima na mikro nivou prenese na više nivoe, gde dolazi do formiranja makro svojstava unutar sistema. Aktivnost se nastavlja i dalje pa dolazi do interakcije između sve većih podskupova sistema. Ono što je jako važno pomenuti je da u kompleksnom sistemu kakav je mozak i viši nivou utiču na niže nivoe. Celokupan sinergetski uticaj među nivoima na kraju dovodi do nastanka novog globalnog emergentnog stanja, kojim je obuhvaćen ceo sistem i čije svojstvo prevazilazi prost zbir delovanja svih nivoa i podskupova sistema. Još jedna karakteristika kompleksnosti neuronskog sistema su povratne (*feedback*) petlje kojima je omogućena dvosmerna kauzalnost.

Svest i informacija

Većina dinamičnih teorija svesti smatra da ćemo do objašnjenja svesti doći kroz razumevanje informacionog procesiranja unutar mozga. Teorija koja je u najjačem i najkoherentnijem smislu postavila informaciju u osnovu svesti je *III* (teorija integrisane informacije). Videli smo da zastupnici teorije integrisane informacije kvantifikuju svest, izjednačavajući je sa količinom integrisane informacije unutar sistema. Kroz različita predviđanja i proveru hipoteza oni pokazuju koliko *III*, iako suprotna našoj intuiciji, dobro objašnjava fenomen svesti.

Osnovna karakteristika dosadašnjih neuronaučnih pristupa je bila sklonost da se u izučavanju svesti pođe od fizičkih osobina, korelata pa da onda procenjuje njihova eksplanatorna moć u odnosu na svesno iskustvo. Važan obrt kod teorije integrisane informacije nalazi se u početnoj, metodološki važnoj, pretpostavci da se pođe od fenomenalnog iskustva, da se definišu fundamentalne osobine svesnog iskustva (aksiomi svesti), pa da se na osnovu toga definišu fizički mehanizmi (postulati) koji bi trebalo da ih objasne. Upravo u tome vidim najveći uspeh teorije integrisane informacije, da se definisanje egzistencije za fizičke sisteme uradi po uzoru na fenomenologiju.

Šta to znači postojati u fizičkom smislu? U svom objašnjenju egzistencije fizičkih stvari Tononi se ne okreće fundamentalnim osobinama materije već relacionom aspektu, u kakvom se odnosu prema ostatku sveta nalaze stvari koje postoje. To znači da objekat postoji ako poseduje mogućnost da deluje na druge entitete fizičkog sveta i da isto tako postoji mogućnost da drugi entiteti deluju na njega. Bez obzira da li je reč o elektronima, hemijskim jedinjenjima ili objektima, koji god nivo da pogledamo, delovanje se posmatra preko uzročno-posledičnog odnosa između entiteta. Da bi nešto postojalo, potrebno je da ima uzročno-posledičnu moć. Iz toga sledi da ukoliko želimo da svest prikazemo kao proizvod fizičkog sveta, moramo da je pokažemo kao rezultat određene uzročno-posledične aktivnosti.

Loša strana teorije je to što je suprotna našoj intuiciji, gde pojedina predviđanja teorije ne odgovaraju našem fenomenalnom iskustvu. Prema njima svest možemo predstaviti kao linearnu funkciju zavisnu od količine integrisane informacije. Jednostavno, za svaki dodati bit integrisane informacije, za toliko se povećava i količina svesnog iskustva. Međutim, to nije u potpunosti u skladu sa onim što mi svakodnevno doživljavamo. Ako pođemo od fenomenalnog iskustva i iskoristimo matematički rečnik kao metaforu, svest pre možemo opisati preko eksponencijalne funkcije. Iako svest fenomenalno ne doživljavamo u principu kao sve ili ništa, jer postoje određeni stepeni svesnosti, poput *REM* faze sna, kada tonemo u san, pri dejstvu alkohola itd., svest se fenomenološki ne doživljava linearno, gde se sa povećanjem integrisane informacije povećava naša svesnost. Na svest pre možemo gledati kao na emergentan fenomen, kada veoma brzo u jednom kraćem intervalu postajemo svesni sebe i sveta oko nas. Ova činjenica je u suprotnosti sa pretpostavkama *III*. Zastupnici *III* bi mogli da kažu da unutar mozga u svakom trenutku postoji segment koji je svestan, čak i kada se nalazimo u dubokom snu ili stanju kome postoji određena količina svesti u sistemu, koja je u tim trenucima mala. Ali nasuprot ovoga stoji činjenica da mi fenomenološki ne doživljavamo stanja dubokog sna ili kome kao stanja sa malo svesti, već stanja u kojima smo u potpunosti bili nesvesni.

Ono što se svakako mora priznati *III* je izuzetna doslednost po pitanju predikcija i prihvatanja posledica svojih hipoteza. Osim toga, prihvatajući delimičan panpsihizam, *III* ima manevarski prostor u odbrani od prigovora upućenih na to kako iz nečeg fizičkog nastaje mentalno. Najveći problem teorije je u tome što ne daje objašnjenje zašto određena količina integrisane informacije unutar mozga prati svesno iskustvo, a neke druge količine ne. Možemo vrlo lako zamisliti da unutar mozga postoji *MNKS* (maksimalno nesvodiva konceptualna

struktura) koje obuhvata ceo mozak a da je osoba u tom slučaju nesvesna. Nesvesna u onom smislu u kojem mi svakodnevno upotrebljavamo pojam svesnog i nesvesnog. Baret pojam informacije stavlja u kontekst *EM* polja i na taj način omogućava njegovu primenu u kontinuiranim sistemima. Međutim, i model koji on predlaže takođe podleže prigovoru da je u neskladu sa našom svakodnevnom intuicijom i značenjem pojma svesti.

Svest je emergentno svojstvo

Za dinamičke modele svesti karakteristično je da prihvataju ideju kauzalne emergencije, kada celina ima veću kauzalnu moć od njenih podistema i pojedinačnih elemenata. Svojstvo koje poseduje celina u potpunosti je nesvodivo na svojstva pojedinačnih komponenti. Priroda obiluje emergentnim fenomenima, gde na primer pojedinačni molekuli vode ne ispoljavaju svojstvo vlažnosti, već je vlažnost kolektivno svojstvo velikog broja međusobno povezanih molekula vode.

Ja zastupam tezu prema kojoj je svest emergentno svojstvo, koje nastaje pod posebnim okolnostima unutar kompleksnih fizičkih sistema odgovarajuće strukture. Kao što kod pojedinih fizičkih sistema dolazi do tranzicije faze kada od mikro elemenata nastaje makro svojstvo, kod neuronskog sistema dolazi do tranzicije faze (fenomenalne transformacije), kada nesvesni fizički procesi unutar mozga formiraju svest. Emergencija povlači sa sobom relacioni holizam, viđenje prema kome relacije celine nisu svodive na intrinzične osobine komponenti. „Paradigmatičan slučaj relacionog holizma je „kvantno upetljavanje” (*quantum entanglement*); ali sugerisano je da se fenomeni izučavani u teoriji nelinearnih dinamičkih sistema mogu takođe kvalifikovati. Ako bi ovo bilo istinito, onda ne samo da bi emergencija i kauzalnost na dole u kompleksnim sistemima kršile metodološki doktrinu mikrofizičke redukcije, već bi takođe kršile i ontološku doktrinu da celina supervenira nad intrinzičnim svojstvima svojih delova (poznata kao mereološka supervenijencija)” (*Varela, Thompson, 2001, str. 420*)

Svest nastaje kao rezultat dve vrste kauzalnosti

Za objašnjenje subjektivnosti je potrebno objasniti suštinsko svojstvo svesti samoreferentnost. Postoji više nivoa i načina procesiranja informacija. Čiste *feed forward* mreže procesiraju informacije, ali takve mreže ne ostvaruju nikakav kauzalni uticaj unutar sebe i ne postoje kao autonomni sistemi. Sa druge strane sistemi unutar kojih postoje povratne (*feedback*)

petlje mogu da postoje kao autonomni kompleksni sistemi i za njih kažemo da postoje nezavisno od spoljašnjeg posmatrača. Karakteristika kompleksnih sistema je da se unutar njih formiraju kauzalni odnosi koji imaju važnost iz ugla samog sistema.

Mozak vrši neprekidnu promenu sebe samog. Procesi unutar mozga su suštinski samomodifikujući, gde se svakim novim učenjem i informacijom modifikuje prethodno stečeno. (*Minsky, 1998*) Denet govori o svesti kao neprekidnom revizionističkom poduhvatu gde svest nije nešto što možemo da definišemo kao precizno određeni sadržaj, jer se taj sadržaj neprekidno reinterpreтира. (*Dennett, 1992*) Subjektivno iskustvo nastaje kroz kauzalni proces, kada postoji cirkularna kauzalnost unutar sistema.

U posebnim okolnostima, kada postoji balans između *top down* and *bottom up* kauzalnosti kompleksan sistem nalazi se u stanju cirkularne kauzalnosti. Samo tada dolazi do uzročno-posledične cirkularnosti gde je uzrok istovremeno i posledica, i obrnuto, gde je posledica istovremeno i sebi uzrok. U teoriji dinamičkog jezgra Edelman navodi rientri proces (*reentry*) kao mehanizam koji stoji u osnovi integracije neuronskog sistema i nastanka svesti. Rientri predstavlja dvosmernu razmenu signala, kroz ogromne količine paralelnih neuronskih puteva (aksona). Zahvaljujući tom procesu različita područja su u stanju da deluju jedna na druge, stvarajući na taj način povratne petlje između njih.

Može li se prevazići težak problem?

Težak problem se može rešiti jedino promenom načina na koji smo ga do sada tretirali. Kako je postavljen težak problem, ne samo da trenutno ne može da bude rešen, već je vrlo verovatno da nikada ni ne može da bude rešen. To smatraju i Ohara i Skut (*O'Hara and Scutt, 1999*). Ukoliko želimo da rešimo težak problem potrebno je da promenimo zahteve, jer se trenutno od teorija koje pokušavaju da objasne svest prećutno zahteva da objašnjenje svesti sadrži uvid u intrinzična svojstva fizičkog sveta. Glavni uzrok ovog problema leži u tome što se ne pravi razlika između postojanja i objašnjenja. Na važnost te distinkcije ukazuje i Edelman (*Edelman, 2006*). Težak problem je tako formulisan da se od onoga ko pokušava da objasni svest zahteva da dokaže nužni identitet između objašnjenja i postojanja. Čalmersov prigovor upravo to zahteva, da teorija svesti dokaže logički identitet između objašnjenja (kauzalnog aspekta) i egzistencije (kvalitativnog, subjektivnog aspekta). Teorija koja pretenduje da objasni svest mora da uzme u obzir ovu razliku.

Opisom relacionih svojstava se mogu objasniti dešavanja u fizičkom svetu i sam fizički svet, jer je ceo njegov opis relacione prirode. Ali nasuprot tome mi nemamo nikakav uvid, a sva je verovatnoća da ga nikada i nećemo imati, u njegova intrinzična svojstva. Naš kognitivni aparat je takav da nam ne dozvoljava to (*McGinn, 1993*), ali nam dozvoljava da imamo uvid u intrinzična svojstva naše svesti. Svest je intrinzično stanje, perspektiva sistema i kao takva je epistemčki zaključana za sve druge. Imati pristup tome znači biti isti taj sistem.

Težak problem je svakako problem koji je među filozofima budio mnogo više pažnje. Međutim moja glavna namera u radu je bila da se kroz rešavanje lakih problema približim rešavanju teškog problema. Istu ideju možemo naći kod Ohare i Skuta. „Jedini način da ostvarimo napredak je da se pozabavimo lakim problemima; koncentrisanje na težak problem neće nikada uspeti da obezbedi napredak.“ (*O'Hara and Scutt, 1999, str. 76*) Okretanje rešavanju lakog problema svesti ni u kom slučaju ne znači odbacivanje posebnog statusa svesti kao predmeta istraživanja. Moguće je prihvatiti subjektivnu ontologiju svesti (*Searle, 1992*) i njenu nesvodivost na neurofiziološku osnovu, ali i prihvatiti istraživački princip prema kome se koristimo objektivnom ontologijom kako bismo pružili objašnjenje za postojanje subjektivne ontologije.

Rešavanje problema svesti podrazumeva objašnjenje specijalnog statusa subjektivnog postojanja unutar materijalnog sveta. Poput Serla (*Searle, 1992*) i ja smatram da svesno iskustvo poseduje subjektivnu ontologiju koja sprečava identitet između bilo koje materijalne osnove (objektivnog nivoa) i fenomenalnog iskustva (subjektivni nivo). Međutim, to sa sobom ne povlači da se svest ne može uopšte objasniti koristeći sredstva savremene nauke. Osnovno pitanje na koje treba dati odgovor je kako je moguće da fizički sistem poseduje subjektivnu ontologiju, da ispoljava perspektivu prvog lica, da postoji intrinzično za sebe?

Ako prihvatimo kauzalnu zatvorenost sveta to sa sobom povlači da se sva dešavanja u materijalnom svetu mogu objasniti preko kauzalnih interakcija, bez obzira da li govorimo o makro ili mikro nivou. Da li stvar postoji definisano je njenim kauzalnim delovanjem u svetu, a da bismo objasnili svest potrebno nam je objašnjenje svesti kao unutrašnjeg kauzalnog delovanja. Teorija bi stoga trebalo da u okviru fizikalističkih (nereduktivnih) okvira pokaže kako sistem može da poseduje subjektivnu perspektivu, koja je razlika u kauzalnim odnosima između sistema

koji poseduju svest i koji je ne poseduju. Dakle, objašnjenje svesti podrazumeva određivanje neuronskih mehanizama koji dovode do intrinzičnog postojanja sistema, do stanja samoreferentnosti. Pošto prirodne nauke imaju najrazvijeniji pojmovni aparat za opis dešavanja u fizičkom sveta, smatram da je pravi put korišćenje njihovih modela i pojmova. Stoga će adekvatna teorija svesti biti onaj teorijski model koji daje najbolje odgovore vezane za autonomnu egzistenciju, kada fizički sistem postoji za sebe (kada je kohezivan)⁶⁶ nezavisno od spoljašnjeg posmatrača.

Pošto je u našem saznanju uvek inkorporirana svest to znači da mi uvek spoznajemo svet iz lične perspektive, da svo naše iskustvo i znanje, sve nauke u svojoj pozadini imaju pretpostavljenu svest. Bilo kakvo saznanje o spoljašnjem svetu dolazi iz naše perspektive i uvek je praćeno svesnim iskustvom. Zbog toga je intrinzični karakter spoljašnjeg sveta nama van domašaja. „...ne znamo dovoljno o intrinzičnom karakteru događaja izvan nas da bismo rekli da li se ili ne razlikuju od „mentalnih” događaja. (*Russell, 1951, str. 222*) „Naša epistemička arhitektura ometa znanje prave prirode objektivnog sveta.” (*McGinn, 1993, str. 2*)

Glavni razlog zašto nam se perspektiva prvog lica otima objašnjenju i zašto neposredno ne možemo znati kako izgleda biti drugo svesno biće, na primer slepi miš, je u tome što je svaka pojedinačna svest emergentan fenomen, uzročno-posledična struktura ograničena prostornovremenskim koordinatama svakog svesnog sistema. Da bismo znali kako izgleda biti druga svest to bi značilo da moramo biti isti taj sistem. Kako je to nemoguće, to znači da je nemoguće da imamo perspektivu prvog lica koja nije naša. Fenomenalna svest, kako to izgleda biti nešto, jeste intrinzično svojstvo sistema i ne tiče se objašnjenja, već postojanja.

Zbog toga je potrebno napraviti razliku između objašnjenja postojanja i iskustva postojanja. To možemo ilustrovati sledećim primerom. Objašnjenje kako i pod kojim uslovima nastaje globalni klimatski fenomen El Ninjo, nikada ne može biti stvarni El Ninjo. Očekivati da objašnjenje svesti prenese i lično iskustvo svesti, što se nalazi u osnovi teškog problema, je isto kao očekivati da objašnjenje kako nastaje El Ninjo bude sam El Ninjo. Objašnjenje svih

⁶⁶ Kohezivni sistemi su sistemi unutar kojih su konstitutivni elementi povezani dinamičkim kauzalnim vezama, što omogućava sistemu da se izdvaja kao jedinstvena celina u odnosu na okruženje. Više o tome (*Campbell, 2009*)

mehanizama, nužnih i dovoljnih uslova, nikada neće biti sama svest i pogrešno je to zahtevati od bilo koje teorije.

Najbolje što možemo da uradimo je da iskoristimo ono što nam je neposredno dato, da analiziramo fenomenološku strukturu svesnog iskustva i onda da probamo da damo odgovor koristeći se različitim modelima prirodnih nauka. Dakle, da bismo objasnili svest potrebno je da objasnimo kako je moguća fenomenalna svest, egzistencija doživljena iz perspektive prvog lica. U poslednjem odeljku (4.) istakao sam nepotpunost predloženih modela i ponudio sam model koji je takođe zasnovan na teoriji dinamičkih modela, ali za koji smatram da bi mogao bolje da odgovori na problem perspektive prvog lica, „kako izgleda biti“. Model svesti koji zastupam polazi od fenomenološke činjenice, da je svest uvek usmerena na samu sebe, da se uvek bavi samom sobom. Pojam samoreferentnosti sam iskoristio za formulisanje hipoteze „neprekidne kauzalne samoreference“ koja nam pruža objašnjenje moždanih kauzalnih mehanizama koji stoje u osnovi svesti. Kako nijedan dinamički model do sada nije do kraja iskoristio tu činjenicu kao bazu za definiciju svesti, smatram da predložena hipoteza predstavlja unapređenu verziju dinamičkih modela i model koji je bliži objašnjenju svesti.

LITERATURA

Aaron Schurger, Jacobo D. Sitt, and Stanislas Dehaene, 2012, *An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement*, Proc Natl Acad Sci U S A, 109(42), E2904-2913.

Adam Barrett, 2014, *An integration of integrated information theory with fundamental physics*, Frontiers in Psychology, VOL. 5, Article 63, pp. 1-6

Alva Noë, 2009, *Out of Our Heads - Why You Are Not Your Brain, and Other Lessons from the Biology of Consciousness*, Hill and Wang, USA

Alva Noë and Evan Thompson, 2004, *Are There Neural Correlates of Consciousness?*, *Journal of Consciousness Studies*, VOL. 11, No. 1, pp. 3–28

Andres Buehlmann, Gustavo Deco, 2010, *Optimal Information Transfer in the Cortex through Synchronization*, PLoS Comput Biol 6(9): e1000934. doi:10.1371/journal.pcbi.1000934

Andrew Adamatzky (Editor), 2010, *Game of Life Cellular Automata*, Springer-Verlag, England

Andy Clark, 1999, *An embodied cognitive science?*, Trends in Cognitive Sciences, VOL. 3, No. 9, pp. 345–351

Andy Clark, 2008, *Supersizing the Mind: Embodiment, Action, and Cognitive Extension*, Oxford University Press, USA

Andy Clark, 1997, *Being There Putting Brain, Body, and World Together Again*, MIT Press, USA

Anne M. Treisman and Garry Gelade, 1980, *A Feature-Integration Theory of Attention*, Cognitive psychology 12, pp. 97-136

Anthony P. Atkinson, Michael S.C. Thomas and Axel Cleeremans, 2000, *Consciousness: mapping the theoretical landscape*, Trends in Cognitive Sciences, VOL. 4, NO. 10, pp. 372–382

Antonio R. Damasio, 2000, *The Feeling of What Happens*, Houghton Mifflin Harcourt, USA

Arien Mack and Irvin Rock, 1999, *Inattentional Blindness An Overview*, Journal Psyche, VOL. 5, USA

Art Hobson, 2013, *There are no particles, there are only fields*, Am. J. Phys., Vol. 81, No. 3, pp. 211-223

Axel Cleeremans, 2001, *The radical plasticity thesis: how the brain learns to be conscious*, The Frontiers in Psychology, VOL. 2, Article 86, pp. 1-12

Bernard J. Baars, 2005, *Global workspace theory of consciousness: toward a cognitive neuroscience of human experience?*, Progress in Brain Research, VOL. 150, pp. 45-54

Batja Mesquita, Lisa Feldman Barrett and Eliot R. Smith (Editors), 2010, *The Mind in Context*, The Guilford Press, USA

Benjamin Libet, 1993, *Neurophysiology of Consciousness*, Birkhauser, USA

Benjamin Libet, 2004, *Mind Time - The Temporal Factor in Consciousness*, Harvard University Press, England

Benjamin Libet, 2006, *Reflections on the interaction of the mind and brain*, Progress in Neurobiology, 78, pp. 322–326.

Benjamin Libet, 1994, *A testable field theory of mind-brain interaction*, Journal of Consciousness Studies, No.1, pp. 119-126

Bernard J. Baars and Nicole M. Gage, 2010, *Cognition, Brain, and Consciousness: Introduction to Cognitive Neuroscience*, Second Edition, Academic Press, USA

Bernard J. Baars, 1988, *A Cognitive Theory of Consciousness*, Cambridge University Press, USA

- Bernard J. Baars, 1997, *In The Theater of Consciousness*, Oxford University Press, USA
- Bertrand Russell, 1992, *The Analysis of Matter*, Routledge, Great Britain
- Bertrand Russell, 1951, *An Outline of Philosophy*, George Allen and Unwin Ltd, England
- Bruno G. Breitmeyer, 2002, *In Support of Pockett's Critique of Libet's Studies of the Time Course of Consciousness*, *Consciousness and Cognition*, VOL. 11, pp. 280–283
- Carl Sagan, 1977, *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human*, Ballantine Books, USA
- Cerullo MA, 2015, *The Problem with Phi: A Critique of Integrated Information Theory*, *PLoS Comput Biol* 11(9): e1004286
- Charles S. Sherrington, 1951, *Man on His Nature, 2nd ed.*, Cambridge University Press, England
- Charlie D. Broad, 1925, *The Mind and its Place in Nature*, Routledge and Kegan Paul, England
- Chiel, H. J., and Beer, R. D., 1997, *The brain has a body: Adaptive behavior emerges from interactions of nervous system, body and environment*, *Trends in Neurosciences*, 2012, pp. 553-557
- Chun Siong Soon, Marcel Brass, Hans-Jochen Heinze and John-Dylan Haynes, 2008, *Unconscious determinants of free decisions in the human brain*, *Nature Neuroscience*, VOL. 11, pp. 543–545
- Churchland M. M., Cunningham J. P., Kaufman M. T., Ryu S. I., and Shenoy K. V., 2010, *Cortical preparatory activity: representation of movement or first cog in a dynamical machine?* *Neuron*, VOL. 68, pp. 387-400
- Chris Eliasmith, 2005, *A Unified Approach to Building and Controlling Spiking Attractor Networks*, *Neural Computation* 17, pp. 1276–1314

Christian Capelle, Charles Trullemans, Patricia Arno and Claude Veraart, 1998, *A real time experimental prototype for enhancement of vision rehabilitation using auditory substitution*, IEEE Trans. Biomed. Eng., VOL. 45, No. 10, pp. 1279–1293

Christof Koch, 2012, *Confessions of a Romantic Reductionist*, The MIT Press, England

Christophe Dupre and Rafael Yuste, 2017, *Non-overlapping Neural Networks in Hydra vulgaris*, Current Biology 27, pp. 1085–1097

Claude E. Shannon and Warren Weaver, 1963, *The Mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press, USA

Colin McGinn, 1993, *Problems in Philosophy - The Limits of Inquiry*, Blackwell, USA

Daniel C Dennett, 1996, *Darwins Dangerous Idea*, Penguin Books, USA

Daniel C. Dennett and Marcel Kinsbourne, 1992, *Time and Observer*, Behavioral and Brain Sciences 15, pp. 183-247

Daniel C. Dennett, 1992, *Consciousness explained*, Back Bay Books, USA

Daniel C. Dennett, 1992, *Is Perception the Leading Edge of Memory?*, Locarno Conference. available as preprint CCS-92-8 from Center for Cognitive Studies Tufts University Medford Massachusetts 02155

Daniel C. Dennett, 1996, *Kinds of Minds Toward an Understanding of Consciousness*, Science Masters Series, Basic Books, USA

Dante Chialvo, 2008, *Emergent complexity: What uphill analysis or downhill invention cannot do*, New Ideas in Psychology 26, pp. 158–173

Dante R. Chialvo, 2010, *Emergent complex neural dynamics: the brain at the edge*, Nature Physics 6, pp. 744-750

Dante R. Chialvo, Pablo Balenzuela, Daniel Fraiman, 2008, *The brain: What is critical about it?*, Proceeding of BIOCOMP2007 - Collective Dynamics: Topics on Competition and Cooperation in the Biosciences. Vietri sul Mare, Italy

Dave Ward, David Silvermana and Mario Villalobos, 2017, *Introduction: The Varieties of Enactivism*, Topoi, pp. 365–375

David H. Hubel and Torsten N. Wiesel, 1964, Effects of Monocular Deprivation in Kittens, Naunyn-Schmiedebergs Arch. exp. Path. u. Pharmak. 248, pp. 492—497

David J. Chalmers, 2010, *The Character of Consciousness*, Oxford University Press, USA

David J. Chalmers, 1996, *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*, Oxford University Press, USA

David Ray Griffin, 1998, *Unsnarling The World-Knot*, University of California Press, USA

David Wolman, 2012, *The split brain: A tale of two halves*, Nature, VOL. 483, pp. 260-263

Deaner, R. O., Isler, K., Burkart, J., and van Schaik, C., 2007, *Overall brain size, and not encephalization quotient, best predicts cognitive ability across non-human primates*, Brain Behav. Evol. 70, pp. 115–124

Derek W. Robinson, 2008, *Entropy and Uncertainty*, Entropy, pp. 493-506

Diameter Plenz and Erns Niebur (Editors), 2014, *Criticality in Neural System: Annual review of Nonlinear Dynamics and complexity*, Wiley-VCH, Germany

Diana Van Lancker Sidtis, 2004, *When only the right hemisphere is left: Studies in language and communication*, Brain and Language 91, pp. 199–211

Emmanuelle Tognoli and J. A. Scott Kelso, 2014, *Enlarging the scope: grasping brain complexity*, Frontiers in Systems Neuroscience., VOL. 8, Article 122, pp. 1-7

Emmanuelle Tognoli and J. A. Scott Kelso, 2014, *The Metastable Brain*, Neuron, 81(1): 35–48. doi:10.1016/j.neuron.2013.12.022.

Enzo Tagliazucchi, Dante R. Chialvo, Michael Siniatchkin, Enrico Amico, Jean-Francois Bricchant, Vincent Bonhomme, Quentin Noirhomme, Helmut Laufs and Steven Laureys, 2016, *Large-scale signatures of unconsciousness are consistent with a departure from critical dynamics*, The Royal Society

Erik P. Hoel, Larissa Albantakis, and Giulio Tononi, 2013, *Quantifying causal emergence shows that macro can beat micro*, PNAS, VOL. 110, No. 49

Evan Thompson, 2007, *Mind in Life – Biology, Phenomenology, and the Science of Mind*, The Belknap Press of Harvard University Press, USA

Evan Thompson and Francisco J. Varela, 2001, *Radical embodiment: neural dynamics and consciousness*, Trends in Cognitive Sciences, VOL.5, No.10, pp. 418-425

Fang F.C. Casadevall A., 2011, *Reductionistic and holistic science*, Infection and immunity, pp. 1401–1404

Faraneh Vargha-Khadem, Lucinda J. Carr, Elizabeth Isaacs, Edward Brett, Christopher Adams and Mortimer Mishkin, 1997, *Onset of speech after left hemispherectomy in a nine-year-old boy*, Brain 120, pp. 159–182

Feng Yu, Qing-jun Jiang, Xi-yan Sun, and Rong-wei Zhang, 2015, *A new case of complete primary cerebellar agenesis: clinical and imaging findings in a living patient*, Brain 138, pp. 1–5

Flavio Fröhlich and David A. McCormick, 2010, *Endogenous electric fields may guide neocortical network activity*, Neuron, 67, pp. 129–143

Fraiman Daniel, Balenzuela Pablo, Foss Jennifer and Chialvo R. Dante, 2009, *Ising-like dynamics in large-scale functional brain networks*, Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys 79 : 061922

Francis Bacon, 2000, *The New Organon*, Edited by Lisa Jardine, Cambridge University Press, USA

Francis Crick, 1994, *The Astonishing Hypothesis - The Scientific Search for the Soul*, Simon and Schuster, USA

Francis Crick and Christof Koch, 2005, *What is the function of the claustrum?*, *Phil. Trans. R. Soc. B* 360, pp. 1271–1279

Francis Crick and Christof Koch, 1990, *Towards a neurobiological theory of consciousness*, *Seminars in The Neurosciences* VOL. 12, pp. 263-275

Francisco J. Varela, Evan Thompson and Eleanor Rosch, 2017, *The Embodied Mind - Cognitive Science and Human Experience (revised edition)*, MIT press, USA

Frank H. Durgin, Laurel Evans, Natalie Dunphy, Susan Klostermann, and Kristina Simmons, 2007, *Rubber Hands Feel the Touch of Light*, *Psychological Science*, VOL. 18, No. 2, pp. 152-157

Frank Jackson, 1998, *From Metaphysics to Ethics: A Defence of Conceptual Analysis*, Clarendon Press - Oxford, USA

Friston K.J., 1997, *Transients, metastability, and neuronal dynamics*, *Neuroimage* 5, 164-171

Fulvio Mazzocchi, 2008, *Complexity in biology: Exceeding the limits of reductionism and determinism using complexity theory*, *European Molecular Biology Organization*, VOL. 9, No. 1

Galen Strawson, 2006, *Realistic Materialism: Why Physicalism Entails Panpsychism*, *Journal of Consciousness Studies*, pp: 3–31

George F.R. Ellis, 2015, *Recognising Top-Down Causation* in: Aguirre A., Foster B., Merali Z. (eds) *Questioning the Foundations of Physics*, The Frontiers Collection, Springer, Cham

George F. R. Ellis, 2012, *Top-down causation and emergence: some comments on mechanisms*, *Interface Focus*, VOL. 2, pp. 126–140

Gerald M. Edelman and Giulio Tononi, 2000, *A Universe of Consciousness – how matter becomes imagination*, Basic Books, USA

Gerald M. Edelman, 2006, *Second Nature: Brain Science and Human Knowledge*, Yale University Press, USA

Gerald. M Edelman, 2004, *Wider Than the Sky: The Phenomenal Gift of Consciousness*, Yale University Press, USA

Gery E. Schwartz and David Shapiro (Editors), 1976, *Consciousness and Self-Regulation - Advances in Research*, VOL. 1, USA

Gilbert Ryle, 2009, *The Concept of Mind*, Routledge, USA

Giulio Tononi and Christof Koch, 2015, *Consciousness: here, there and everywhere?*, Phil. Trans. R. Soc. B 370: 20140167

Giulio Tononi and David Balduzzi, 2008, *Integrated Information in Discrete Dynamical Systems: Motivation and Theoretical Framework*, PLoS Computational Biology , VOL. 4, pp. 1-18

Giulio Tononi, 2004, *An information integration theory of consciousness*, BMC Neuroscience 2004, 5:42

Giulio Tononi, 2008, *Consciousness as Integrated Information: a Provisional Manifesto*, Biol. Bull. 215: pp. 216–242

Giulio Tononi, Olaf Sporns and Gerald M. Edelman, 1994, *A measure for brain complexity: Relating functional segregation*, Proc. Natl. Acad. Sci. VOL. 91, pp. 5033-5037, USA

Giulio Tononi, Olaf Sporns and Gerald M. Edelman, 1996, *A complexity measure for selective matching of signals by the brain*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA VOL. 93, pp. 3422-3427

Giurfa M., Menzel R., 2003, *Cognitive Architecture of a Mini-Brain*, In: Kühn R., Menzel R., Menzel W., Ratsch U., Richter M.M., Stamatescu IO. (Editors), *Adaptivity and Learning*. Springer, Berlin, Heidelberg

George P. Prigatano, Daniel L. Schacter, 1991, *Awareness of Deficit after Brain Injury: Clinical and Theoretical Issues*, Oxford University Press, USA

Gregory Bateson, 1972, *Steps to an Ecology of Mind*, Ballantine Books, USA

Günter Wunner and Axel Pelster (eds.), 2012, *Selforganization in Complex Systems: The Past, Present, and Future of Synergetics: Proceedings of the International Symposium*, Hanse Institute of Advanced Studies, Delmenhorst, Germany

Gyorgy Buzsaki, 2006, *Rhythms of the brain*, Oxford University Press, USA

Haggard Patrick and Eimer Martin, 1999, *On the relation between brain potentials and the awareness of voluntary movements*, Exp. Brain Res. 126, pp. 128–133

Haggard Patrick, 2008, *Human volition: towards a neuroscience of will*, Nat Rev Neurosci, VOL. 9, pp. 934-946

H. Henrik Ehrsson, Nicholas P. Holmes, and Richard E. Passingham, 2005, *Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas*, J Neurosci. 25(45): 10564–10573

Harvey Gould and Jan Tobochnik, 2010, *Statistical and Thermal Physics: With Computer Applications*, Princeton University Press, USA

Hodgkin A.L. and Huxley A.F., 1952, *A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve*, J. Physiol., 117 , pp. 500 – 544 .

Humberto R. Maturana and Francisco J. Varela, 1980, *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*, D. Reidel Publishing Company, Holland

Ichiro Tsuda, 2001, *Toward an interpretation of dynamic neural activity in terms of chaotic dynamical system*, Behavioral and Brain Sciences 24, pp. 793–847

Ivan Osorio, Hitten Zaveri, Mark G. Frei, Susan Arthurs (Editors), 2011, *Epilepsy The Intersection of Neurosciences, Biology, Mathematics, Engineering, and Physics*, CRS Press, USA

James G. Fox and Robert P. Marini (Editors), 2014, *Biology and Diseases of The Ferret - Third Edition*, Chapter 30, Jitendra Sharma and Mriganka Sur, *The Ferret as a Model for Visual System Development and Plasticity*, str. 711-735, Wiley Blackwell, USA

James K. Rilling, 2006, *Human and nonhuman primate brains: are they allometrically scaled versions of the same design?*, *Evolutionary Anthropology* 15, pp. 65–77.

J. C. Smuts, 1927, *Holism and evolution*, MACMILLAN AND CO., Great Britain

J.A. Scott Kelso, 2012, *Multistability and metastability: understanding dynamic coordination in the brain*, *Phil. Trans. R. Soc. B* 367, 906–918

J.A.Scott Kelso, 1995, *Dinamic patterns – The Self Organization of Brain and Behavior*, The MIT Press, USA

Jan Degenaar and J. Kevin O'Regan, 2015, *Sensorimotor theory and enactivism*, Volume 36, Issue 3, pp. 393–407

Jaegwon Kim, 1993, *Supervenience and mind – Selected Philosophical Essays*, Cambridge University Press, USA

Jaegwon Kim, 1998, *Mind in a Physical World – An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*, MIT Press, USA

Jaegwon Kim, 2005, *Physicalism, Or Something Near Enough*, Princeton University Press, USA

Jaegwon Kim, 2006, *Emergence: core ideas and issues*, *Synthese* 151, pp. 547–559

John Mingers, 1991, *The Cognitive Theories of Maturana and Varela*, *Systems Practice*, VOL. 4, No. 4, pp. 319–338

Johnjoe McFadden, 2002, *The conscious electromagnetic information (CEMI) field theory*, *Journal of Consciousness Studies*, 9, No.8, pp. 45–60

Johnjoe McFadden, 2006, *The CEMI field theory*, in Tuszynski, J. (ed.) *The Emerging Physics of Consciousness*, Springer, Germany

Johnjoe McFadden, 2013, *The CEMI Field Theory: Closing the Loop*, Journal of Consciousness Studies, VOL. 20, No. 1–2, pp. 153–168

John R. Searle, 2002, *Consciousness and Language*, Cambridge University Press, United Kingdom

John R. Searle, 1992, *The Rediscovery of the Mind*, A Bradford Book, MIT Press, USA

John R. Searle, 1993, *The problem of consciousness*, In G.R. Bock and J. Marsh (Editors), *Experimental and theoretical studies of consciousness*, VOL. 174, pp. 61-80, Chichester: John Wiley and Sons.

John R. Searle, 1997, *The Mystery of Consciousness*, New York Review Books, USA

John R. Searle, 2002, *Why I Am Not a Property Dualist*, Journal of Consciousness Studies, 9, No. 12, pp. 57–64

Judy Trevena and Jeff Miller, 2010, *Brain preparation before a voluntary action: Evidence against unconscious movement initiation*, Consciousness and Cognition, VOL. 19, pp. 447-456

Karl Popper, B.I.B Lindahl, and Peter Arhem, 1993, *A discussion of the mind–brain problem*, Theoretical Medicine, VOL. 14, Issue 2, pp. 167–180

Kazu RS, Maldonado J, Mota B, Manger PR, Herculano-Houzel S., 2015, *Corrigendum: Cellular scaling rules for the brain of Artiodactyla include a highly folded cortex with few neurons*, Frontiers in Neuroanatomy, VOL. 9, Article 39, pp. 1-3

Keith Frankish, 2016, *Illusionism as a Theory of Consciousness*, Journal of Consciousness Studies, 23: pp. 11–39

J. Kevin O'Regan, Ronald A. Rensink and James J. Clark, 1999, *Change-blindness as a result of 'mudsplashes'*, Nature, VOL. 398, pp. 34

Kieron O'Hara and Tom Scutt, 1999, *There Is No Hard Problem of Consciousness*, Explaining Consciousness - The Hard Problem, Jonathan Shear (Editor), MIT Press, USA, pp. 69-82

Klyachko A.V. and Stevens F.C., 2003, *Connectivity optimization and the positioning of cortical areas*, Proc Natl Acad Sci, VOL. 100, No. 13, pp. 7937–7941

Klyubin A.S., Polani D., Nehaniv C.L., 2008, *Keep your options open: An information-based driving principle for sensorimotor systems*. PLoS ONE, VOL. 3, Issue 12

Kurt A. Kaczmarek, 2011, *The tongue display unit (TDU) for electrotactile spatiotemporal pattern presentation*, Sci Iran D Comput Sci Eng Electr Eng.,18(6), pp. 1476–1485

Lindahl B.I.B and Peter Arhem, 2016, *Consciousness and Neural Force Fields*, Journal of Consciousness Studies, 23, No. 7–8, pp. 228–253

Lionel Feuillet, Henry Dufour, Jean Pelletier, 2007, *Brain of a white-collar worker*, Lancet, VOL. 370

Louis Lefebvre, Simon M. Reader and Daniel Sol, 2004, *Brains, Innovations and Evolution in Birds and Primates*, Brain, Behavior and Evolution, pp. 233–246

Lowet E, Roberts MJ, Bonizzi P, Karel J and De Weerd P, 2016, *Quantifying Neural Oscillatory Synchronization: A Comparison between Spectral Coherence and Phase-Locking Value Approaches*, PLoS ONE 11(1): e0146443.

M. Abeles, 1991, *Corticonics - Neural Circuits of The Cerebral Cortex*, Cambridge University Press, USA

Mark A. Bedau, 1997, *Weak Emergence*, Philosophical Perspectives, VOL. 11, pp. 375–399

Mark A. Bedau and Paul Humphreys (Editors), 2008, *Emergence - Contemporary Readings in Philosophy and Science*, A Bradford Book, MIT Press, USA

Mark H. Bickhard, 2009, *The Interactivist Model*, Synthese, VOL.166, Issue 3, pp. 547-591

Mark Rowlands, 2010, *The New Science of the Mind - From Extended Mind to Embodied Phenomenology*, The MIT Press, USA

Mark Siderits, Evan Thompson and Dan Zahavi (Editors), 2011, *Self, No Self?: Perspectives from Analytical, Phenomenological, and Indian Traditions*, Oxford University Press, USA

Murray Shanahan, Verner P. Bingman, Toru Shimizu, Martin Wild and Onur Güntürkün, 2013, *Large-scale network organization in the avian forebrain: a connectivity matrix and theoretical analysis*, *Frontiers in Computational Neuroscience*, VOL. 7, Article 89, pp. 1-16

Marshall W. Gomez-Ramirez J. and G. Tononi G., 2016, *Integrated Information and State Differentiation*, *Frontiers in Psychology*, VOL. 7, Article 926, pp. 1-18

Marvin Minsky, 1998, *The Society of Mind*, Touchstone Edition Simon and Schuster, USA

Masafumi Oizumi, Larisa Albantakis and Giulio Tononi, 2014, *From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness: Integrated Information Theory 3.0.*, *PLoS Comput Biol* 10(5)

Masao Matsushashi and Mark Hallett, 2008, *The timing of the conscious intention to move*, *Eur J Neurosci.*, 28(11), pp. 2344–2351.

Matthew Botvinick and Jonathan Cohen, 1998, *Rubber hands "feel" touch that eyes see*, *Nature*, 391(6669), 756

Maurice Merleau-Ponty, 2002, *Phenomenology of Perception (Second Edition)*, Routledge, London and New York

Max Lungarella and Olaf Sporns, 2006, *Mapping information flow in sensorimotor networks*, *PLoS Computational Biology*, VOL. 2, Issue 10, pp. 1301-1312

Max Velmans, Susan Schneider (Editors), 2007, *The Blackwell Companion to Consciousness*, Blackwell, USA

Michael Gazzaniga (Editor in chief), 2009, *The Cognitive Neuroscience*, Fourth Edition, The MIT Press, USA

Michael A. Cohen and Daniel C. Dennett, 2011, *Consciousness cannot be separated from function*, *Trends in Cognitive Sciences*, VOL. 15, No. 8, pp. 358-364

Michel Bitbol, 2007, *Ontology, Matter and Emergence*, Phenomenology and the Cognitive Science, VOL. 6, Issue 3, pp. 293–307

Michel A. Hofman, 2014, *Evolution of the human brain: when bigger is better*, Frontiers in Neuroanatomy, VOL. 8, Article 15, pp. 1-12

Michael H. Herzog, Thomas Kammer and Frank Scharnowski, 2016, *Time Slices: What Is the Duration of a Percept?*, PLOS Biology, pp. 1-12

Michael S. Gazzaniga and Joseph E. LeDoux, 1978, *The Integrated Mind*, Springer Science+Business Media, USA

Michael S. Gazzaniga, 2008, *Human: The Science Behind What Make Us Unique*, Ecco, USA

Michael Wibral, Raul Vicente and Joseph T. Lizier (Editors), 2014, *Directed Information Measures in Neuroscience*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Michael Tye, 2009, *Consciousness Revisited - Materialism without Phenomenal Concepts*, MIT Press

Miguel Pais-Vieira, Mikhail Lebedev, Carolina Kunicki, Jing Wang and Miguel A. L. Nicolelis, 2012, *A Brain-to-Brain Interface for Real-Time Sharing of Sensorimotor Information*, Scientific Reports 3, Article number: 1319

Mikhail I. Rabinovich and Pablo Varona, 2011, *Robust transient dynamics and brain functions*, Front. Comput. Neurosci., VOL. 5, Article 24, pp. 1-10

Mikhail I. Rabinovich, Karl J. Friston, and Pablo Varona (Editors), 2012, *Principles of Brain Dynamics Global State Interactions*, The MIT PRESS, USA

Mikhail I. Rabinovich, Ramón Huerta¹, Pablo Varona and Valentin S. Afraimovich, 2008, *Transient Cognitive Dynamics, Metastability, and Decision Making*, PLoS Computational Biology, Volume 4, Issue 5

Mriganka Sur, Alessandra Angelucci and Jitendra Sharma, 1999 , *Rewiring Cortex: The Role of Patterned Activity in Development and Plasticity of Neocortical Circuits*, J. Neurobiology 41, pp. 33–43

Moreno A. and Umerez J., (2000) *Downward causation at the core of living organisms*, In: Andersen PB, Emmeche C, Finnemann NO, Christiansen PV (eds) *Downward causation*. Aarhus University Press, Aarhus, pp. 99–117

Mostyn W. Jones, 2013, *Electromagnetic field theories of mind*, Journal of Consciousness Studies, 20, No. 11–12, pp. 124–49

Ned Block, 1995, *On a confusion about a function of consciousness*, Behavioral and Brain sciences 18, pp. 227-287

Noelle R. B. Stiles , Monica Li, Carmel A. Levitan, Yukiyasu Kamitani, Shimojo Shinsuke, 2018, *What you saw is what you will hear: Two new illusions with audiovisual postdictive effects*, PLoS ONE, 13(10)

Norbert Wiener, 1965, *Cybernetics, Second Edition: or the Control and Communication in the Animal and the Machine*, The MIT press, USA

Olaf Sporns, 2010, *Networks of The Brain*, The MIT Press, USA

Olaf Sporns, Dante R. Chialvo, Marcus Kaiser and Claus C. Hilgetag, 2004, *Organization, development and function of complex brain networks*, Trends in Cognitive Sciences, VOL. 8, No. 9, pp. 1-10

Osame Kinouchi and Mauro Copelli, 2006, *Optimal dynamical range of excitable networks at criticality*, Nature Physics 2, pp. 348–352

Pascal Fries, 2005, *A mechanism for cognitive dynamics: neuronal communication through neuronal coherence*, Trends in Cognitive Science, VOL. 9, Issue 10, pp. 474-480

Pascal Fries, 2015, *Rhythms for Cognition: Communication through Coherence*, Neuron, VOL. 88, pp. 220-235

Patricia Smith Churchland, 2002, *Brain-Wise-Studies in Neurophilosophy*, Bradford Book. Cambridge (Massachusetts): The MIT Press, USA

Paul Bach-y-Rita and Stephen W. Kercel, 2003, *Sensory substitution and the human-machine interface*, Trends in Cognitive Sciences Vol.7 No.12, pp. 541-546

Paul Bach-Y-Rita, Yuri Danilov, Mitchell E. Tylerf, Robert J. Grimm, 2005, *Late human brain plasticity: vestibular substitution with a tongue BrainPort human-machine interface*, Intellectica, pp. 115-122

Paul Miller, 2016, *Dynamical systems, attractors, and neural circuits*, F1000Research, 5(F1000 Faculty Rev):992, pp. 1-18

Per Bak, 1996, *How Nature Works: The science of self-organized criticality*, Springer, USA

Peter Menzies, 1998, *Against Causal Reductionism*, Mind, New Series, VOL. 97, No. 388, pp. 551-574

Philip Clayton, 2004, *Mind and Emergence: From Quantum to Consciousness*, Oxford University Press, England

Philip Clayton and Paul Davies (Editors), 2006, *The reemergence of emergence: the emergentist hypothesis from science to religion*, Oxford University Press, USA

Rajesh P. N. Rao, Andrea Stocco, Matthew Bryan, Devapratim Sarma, Tiffany M. Youngquist, Joseph Wul and Chantel S. Prat, 2014, *A Direct Brain-to-Brain Interface in Humans*, PLoS ONE 9(11): e111332.

Raul Vicente, Michael Wibral, Michael Lindner and Gordon Pipa, 2011, *Transfer entropy - a model-free measure of effective connectivity for the neuroscience*, J. Comput. Neurosci., VOL. 30, pp. 45-67

Rene Descartes, 1998, *Discourse on Method and Meditations on First Philosophy*, Hackett Publishing Company, USA

Richard Campbell, 2009, *A processed-based model for an interactive ontology*, Synthese, VOL. 166, Issue 3, pp. 453–477

Richard Campbell and Mark Bickhard, 2011, *Physicalism, Emergence and Downward Causation*, Axiomathes, VOL 21, No. 1, pp. 33-56

Richard Dawkins, 2006, *The Blind Watchmaker*, Penguin, United Kingdom

Richard P. Feynman, 1963, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol I., Addison Wesley Longman, USA

Rick C. Looijen, 2000, *Holism and Reductionism in Biology and Ecology - The Mutual Dependence of Higher and Lower Level Research Programmes*, Springer, Netherlands

Robert Oerter, 2006, *The Theory of Almost Everything: The Standard Model, the Unsung Triumph of Modern Physics*, A Plume Book, USA

Samuel Alexander, 1966, *Space, Time, and Deity*, Palgrave Macmillan, United Kingdom

Sara Imari Walker, Luis Cisneros and Paul C.W. Davies, 2012, *Evolutionary Transitions and Top-Down Causation*, ALIFE 2012: The Thirteenth International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems, pp. 283-290

Sarkar S., 1992, *Models of reduction and categories of reductionism*, Synthese 91, pp. 167-194

Scott Aaronson, 2014, *Giulio Tononi and Me: A Phi-nal Exchange*. Accessed December 1 2014. [http:// www.scottaaronson.com/blog/?p=1823](http://www.scottaaronson.com/blog/?p=1823)

Scott Aaronson, 2014, *Why I Am Not An Integrated Information Theorist (or, the Unconscious Expander)* Accessed December 1 2014. <http://www.scottaaronson.com/blog/?p=1799>

Sean Carroll, 2016, *The Big Picture On The Origins of Life, Meaning and the Universe Itself*, Penguin, USA

Semir Zeki, 2015, *A massively asynchronous, parallel brain*, Phil. Trans. R. Soc. B 370: 20140174

Seweryn Olkowicza, Martin Kocourek, Radek K. Lucan, Michal Porteš, W. Tecumseh Fitch, Suzana Herculano-Houzel, and Pavel Nemeč, 2016, *Birds have primate-like numbers of neurons in the forebrain*, PNAS, VOL. 113, No. 26, pp. 7255–7260

Shige-yoshi Fujisawa, Norio Matsuki and Yuji Ikegaya., 2004, *Chronometric readout from a memory trace: Gamma-frequency field stimulation recruits timed recurrent activity in the rat CA3 network*, Journal of Physiology, 561, pp. 123–131.

Shuichi Shigeno, Paul L. R. Andrews, Giovanna Ponte and Graziano Fiorito, 2018, *Cephalopod Brains: An Overview of Current Knowledge to Facilitate Comparison With Vertebrates*, Frontiers in Physiology, VOL. 9, Article 952, pp. 1-16

Stanislas Dehaene, Lionel Naccache, 2001, *Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework*, Cognition 79, pp. 1-37

Stanley N. Salthe, 1985, *Evolving Hierarchical Systems: Their Structure and Representation*, Columbia University Press, USA

Stefano Nolfi, Gianluca Baldassarre, Raffaele Calabretta, John C. T. Hallam, Davide Marocco, Jean-Arcady Meyer, Orazio Miglino and Domenico Parisi (Editors), 2006, *From Animals to Animats 9*, 9th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, Rome, Italy

Stephen Jay Gould and Niles Eldridge, 1977, *Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered*, Paleobiology VOL. 3, No. 2, pp. 115-151

Steven L. Bressler and J. A. Scott Kelso, 2016, *Coordination Dynamics in Cognitive Neuroscience*, Front. Neurosci., VOL 10, Article 397, pp. 1-7

Stuart A. Kauffman, 1993, *The origins of order: self organization and selection in evolution*, Oxford University Press, USA

Stuart Hameroff and Roger Penrose, 2014, *Reply to criticism of the 'Orch OR qubit' – 'Orchestrated objective reduction' is scientifically justified*, Physics of Life Reviews, Elsevier, VOL. 11 pp. 94–100

Stuart Hameroff and Roger Penrose, 2011, *Consciousness in the Universe: Neuroscience, Quantum Space-Time Geometry and Orch OR Theory*, Journal of Cosmology, VOL. 14

Stuart Hameroff and Roger Penrose, 2014, *Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory*, Physics of Life Reviews. Elsevier. VOL. 11, Issue 1, pp. 39–78

Sudhansu Chokroverty and Luigi Ferini-Strambi (Editors), 2017, *Oxford Textbook of Sleep Disorders*, Oxford University Press, USA

Susan Pockett, 2012, *The Electromagnetic Field Theory of Consciousness: A Testable Hypothesis about the Characteristics of Conscious as Opposed to Non-conscious Fields*, Journal of Consciousness Studies, 19, No. 11–12, pp. 191–223

Susan Pockett, 2014, *Problems with theories that equate consciousness with information or information processing*, Frontiers in Systems Neuroscience, VOL. 8, Article 225, pp. 1-3

Susan Pockett, 2002, *On Subjective Back-Referral and How Long It Takes to Become Conscious of a Stimulus: A Reinterpretation of Libet's Data*, Consciousness and Cognition, VOL. 11, pp. 144–161

Suzana Herculano-Houzel, 2009, *The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain*, Frontiers in Human Neuroscience, VOL. 3, Article 3, pp. 1-11

Teed Rockwell, 1996, *Awareness, mental phenomena and consciousness: a synthesis of Dennett and Rosenthal*, Journal of Consciousness Studies, VOL. 3, Numbers 5-6, pp. 463-476

Ted Honderich (Editor), 2005, *The Oxford Companion to Philosophy (2nd ed.)*, Oxford University Press, USA

Thilo Womelsdorf, Jan-Mathijs Schoffelen, Robert Oostenveld, Wolf Singer, Robert Desimone, Andreas K. Engel and Pascal Fries, 2007, *Modulation of Neuronal Interactions Through Neuronal Synchronization*, Science, VOL. 316, pp. 1609-1612

Thien Thanh Dang-Vu, Manuel Schabus, Martin Desseilles, Virginie Sterpenich, Maxime Bonjean, and Pierre Maquet, 2010, *Functional Neuroimaging Insights into the Physiology of Human Sleep*, *Sleep*, VOL. 33, No. 12, pp. 1589–1603

Thomas Nagel, 1974, *What Is It Like to Be a Bat?*, *The Philosophical Review*, VOL. 83, No. 4, pp. 435-450

Thomas Natschlägel and Nils Bertschinger, 2004, *Real-Time Computation at the Edge of Chaos in Recurrent Neural Networks*, *Neural Computation* VOL. 16, Issue 7, p.1413-1436

Thomas Metzinger, 2003, *Phenomenal transparency and cognitive self-reference*, *Phenomenology and the Cognitive Sciences* 2, pp. 353–393

Thomas Metzinger, 2004, *Being No One – The Self-model Theory of Consciousness*, MIT Press, USA

Thomas Metzinger, 2019, *MPE discussion paper: The ARAS-model theory: Steps toward a minimal model of conscious experience as such*, pp. 1-68 https://www.philosophie.fb05.uni-ainz.de/files/2019/04/MPE_discussion_paper_March_2019.pdf

Timothy O'Connor, 1994, *Emergent Properties*, *American Philosophical Quarterly*, VOL.31 pp. 91–104

V. Frette, K. Christensen, A. Malthé-Sorensen, J. Feder, T. Jossang and P. Meakin, 1996, *Avalanche dynamics in a pile of rice*, *Nature*, VOL. 379

Vilayanur S. Ramachandran and Diane Rogers-Ramachandran, 2000, *Phantom Limbs and Neural Plasticity*, *Arch Neurol.*, VOL. 57, pp. 317-320

Walter J. Freeman, 1999, *Consciousness, Intentionality, and Causality*, *Journal of Consciousness Studies*, VOL. 6, pp. 143-172

Walter J. Freeman, 2006, *Consciousness, Intentionality, and Causality*, pp. 73-105 in Susan Pockett, William P. Banks and Shaun Gallagher (eds.), *Journal of Consciousness Studies*, MIT Press

W. v. O. Quine, 1951, *Two Dogmas of Empiricism*, *The Philosophical Review*, pp. 20–43

William James, 1890, *The Principles of Psychology*, Harvard University Press, USA

Xiao Jing Wang, 2008, *Theoretical and Computational Neuroscience: Attractor network models* (MS number: 1397), *New encyclopedia of neuroscience*

Yoshitsugu Oono, 2013, *The Nonlinear World: Conceptual Analysis and Phenomenology* (*Springer Series in Synergetics*), Springer, Japan

BIOGRAFIJA AUTORA

Dušan Simić je rođen u Beogradu 19.10.1983. godine. Filozofiju na Filozofskom fakultetu u Beogradu upisuje 2004. godine a diplomira 2008. godine sa temom diplomskog rada „Partikularije kao krajnji konstituenti stvarnosti.“, čiji je mentor prof. dr Živan Lazović. Nakon osnovnih studija 2009. godine. upisuje doktorske studije na Filozofskom fakultetu u Beogradu.

Od 2009. godine pohađa specijalističke studije za reklamu i medije na Fakultetu dramskih umetnosti i završava ih 2010. godine. Na konkursu za plakat na temu očuvanja biodiverziteta koju dodeljuju IAA (*International Advertising Association*) i Ujedinjene nacije 2010. godine osvojio je prvu svetsku nagradu. Iste godine dobio je nagradu „Dragan Sakan – *New Idea*“ za unapređenje komunikacije i inovaciju u oglašavanju koju dodeljuje UEPS (Udruženje ekonomskih propagandista Srbije). Od 2010 godine zaposlen je kao strateški planer u reklamnoj agenciji Communis.

Za časopis *Theoria* 4 /2017, objavio je rad pod nazivom „Integrisani duh. Svest kao rezultat funkcionalne integracije i funkcionalne specijalizacije neuronskih struktura.“ Oblast interesovanja Dušana Simića su filozofija duha, neurofilozofija, kognitivna nauka i filozofija nauke.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Душан Симић

Број индекса ОФ 16-203

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Неуробиолошко објашњење свести

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 28.10.2019.

Потпис аутора

Душан Симић

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Душан Симић

Број индекса: ОФ 16-203

Студијски програм: Филозофија

Наслов рада: Неуробиолошко објашњење свести

Ментор: Љиљана Раденовић

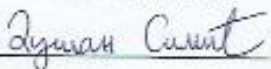
Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, 28.10.2019.

Потпис аутора



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Неуробиолошко објашњење свести

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

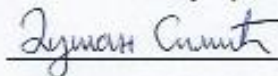
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, 28.10.2019.

Потпис аутора



1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.