

1 EMPIRIČNE IN TEORETIČNE OSNOVE NOVE BIOLOGIJE

Od novih teoretičnih konceptov k empiriji

Ob vpeljavi novih pojmov genetske informacije in biološkega toka smo videli, da predstavljata oba koncepta pomembno razliko glede na klasične koncepte. V prvi vrsti je to notranja povezanost, ki se kaže kot prehodnost, zveznost. Z vidika dinamično pojmovane informacije lahko realno obstajajo bitnosti oziroma strukture, ki so po klasičnem pojmovanju povsem abstraktne in s tem nesprejemljive za realno obravnavanje. Kljub nedvomnim prednostim dinamičnih modelov, še vedno ostane povsem umestno vprašanje, ali ni to le teoretični konstrukt, s pomočjo katerega se da bolje razlagati nekatere biološke procese in pojave, nima pa nobene posebne povezave z realnostjo. Filozofsko vprašanje o razmerju med razlago (znanstveno teorijo) in realnostjo, ki naj bi jo prva pojasnjevala, je še vedno predmet zelo različnih pogledov: od realističnega pa tja do skrajno instrumentalističnega (Nagel 1961: 106-52). Po prvem so teorije preslikava stvarnosti v znanstveni jezik, po drugem pa le instrument za ureditev naše izkušnje, kjer se s še tako preverjenim in razdelanim modelom ne moremo približati resnici. V okviru filozofije in znanosti so torej vse poti za oceno realizma naših modelov odprte; odgovor je povsem odvisen od naše idejne naravnosti. Dejstvo je, da znanosti ne vodijo naprej le empirična odkritja; tudi že sam nov miselni model, ki na bolj skladen način povzema podatke in je bolj vsevključujoč, ima svojo nedvoumno razlagalno, in s tem znanstveno vrednost. Daje lahko nov uvid v poznano znanstveno materijo ter s tem potencialno utira nove raziskovalne in razlagalne poti. V našem primeru se ob tem resda soočamo s težavami neizdelane logike, ki bi bila ukrojena po meri dinamičnih bitnosti, in z odsotnostjo pripadajočega splošnega teoretično-metodološkega ogrodja. Toda biološka stvarnost in že uveljavljena praksa pojmovanja bioloških bitnosti zahtevata oziroma silita v razvoj in uporabo pojmov, ki ponazarjajo dinamične bitnosti. Kasneje ko bo to storjeno, slabše bo za biologijo, ki bo še venomer vztrajala pri statičnih ali celo nekonsistentnih pojmih¹ ter si onemogočala globlje prodore v pojasnjevanju skrivnosti živega.

če v okviru filozofije znanosti ni moč najti odgovora na povezavo med stvarnostjo in novimi dinamičnimi modeli središčnih bioloških bitnosti, pa je, kakor se spodobi za naravoslovno znanost, potrebno soočenje z empiričnimi dejstvi. če je življenje v resnici le molekularna interakcija in če je potemtakem v principu razložljivo s stališča molekul kot nekakšnih atomarnih struktur oziroma osnovnih delcev, potem se ga da vsaj v načelu razlagati z redukcionističnimi modeli, kjer se ne reducira le organizmov na svoje (nežive) sestavne dele, temveč tudi prava dinamika na navidezno dinamiko, ki je v

¹ Lep primer tega smo si ogledali ob metodični analizi pojmov replikatorja in občega gena v tretjem poglavju.

svojem bistvu statika. To dokazuje dejstvo, da je možno molekularno redukcionistične modele obravnavati s pristopi, ki temeljijo na dvovrednostni logiki, torej podobno kot v kemiji ali klasični fiziki. Če življenju v resnici vladajo molekule in njihovi zakoni stičnih interakcij, potem je osnovni značaj življenjskega procesa povsem stohastičen; daljnosežni red, ki označuje organizme, pa nastane na podlagi stičnih interakcij med molekulami. In dejansko po predstavah sodobne uveljavljene biološke paradigme življenje v vsej svoji kompleksnosti temelji le na kratkosežnih, stičnih povezavah med neštetimi molekulami organizma. Temu lahko rečemo red Brownovega gibanja, ki je v bistvu povsem neurejeno stanje. Red se na tej podlagi lahko vzpostavlja le zaradi viška proste energije, kar opažamo tudi v neživih sistemih².

Toda v novejšem času se kopirajo tako empirični dokazi kot teoretični (matematično fizikalni) razmisleki, da urejenosti življenja ne podčrtuje (ne)red Brownovega gibanja, temveč povsem drugačen red, ki temelji na **endogenem koherentnem bioelektromagnetnem polju** (Vitiello 1992). V tem polju se tudi molekule ne vedejo kot slepo zaletavajoči se osamelci, temveč kot občutljive in s celoto vzajemno povezane enote, ki izražajo celo neko mero inteligence oziroma prilagodljivosti. Temu novemu pogledu na življenje, ki se šele počasi uveljavlja, pravimo - zaradi pomanjkanja nekega širše sprejetega in bolj določnega izraza - tudi *nova biologija*. V znanstveni literaturi se, kot bomo videli, pojavljata še dva pojma, ki vsaj deloma pomenita izhodišče za novo biologijo, in sicer sta to *kvantna biologija* in *biološka koherenca*. Nobeden od njiju pa še ni širše oziroma univerzalno sprejet, zaradi česar bova največkrat uporabljala kar izraz *nova biologija*.

1.1 BIOLOGIJA ULTRAŠIBKE LUMINISCENCE

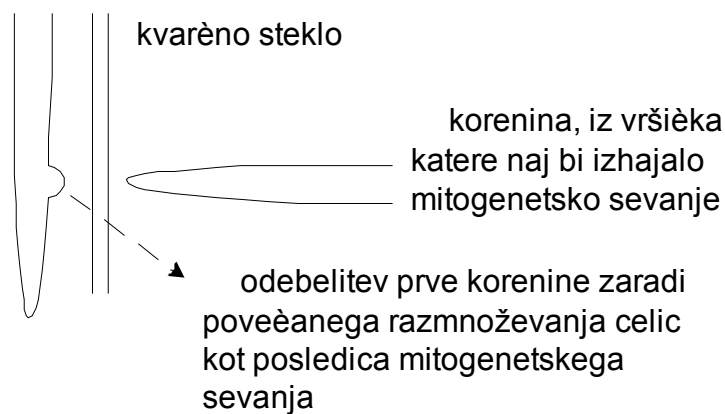
1.1.1 Zgodovina

Nova biologija, ki je ne gre mešati z modernim organicizmom³, ker je povsem empirična in ne filozofska disciplina, dejansko sploh ni tako zelo nova. Njeni začetki segajo v nekaterih smereh v prvo polovico tega stoletja. Najverjetneje je bil prvi znanstvenik, ki je utrl pot raziskovanju koherentnih elektromagnetnih pojavov v organizmu, Rus Aleksander G. Gurvič (1874-1954) (Lipkind 1992, Popp 1984:34-41). Pri raziskavah mladih čebul je Gurvič že leta 1922 opazil, da se množijo celice čebulnega stebela hitreje v tisti smeri, kjer je steblo, pravokotno na njegovo rastočo os, približal koreninski vršiček druge čebule. Pojav je zaradi povečanja celičnih delitev (mitoz) poimenoval *mitogenetski učinek*. Ker se je hotel prepričati, ali gre za kemijski ali kak drug vpliv, je Gurvič ločil koreninski vrh ene in steblo druge

² To so na primer Bénardove konvekcijske celice, ki nastajajo ob segrevanju vode; pa znana reakcija po Belousovov in Zhabotinskem, kjer nastajajo spiralne oblike. Tudi tvorba urejenih formacij oblakov je nekaj podobnega. Vse to podrobno raziskuje in razdeluje znanost o samoorganiziranih procesih - *sinergetika* (glej na primer Haken 1983)

³ čeprav ima z njim močne stične točke, kot bomo še videli.

korenine s steklom. Normalno steklo je pri tem ukinilo mitogenetski učinek, toda na presenečenje mladega znanstvenika je ta nastopil v polnem sijaju, če je uporabil kvarčno steklo, ki prepušča UV žarke (glej sliko VI-1). Gurvič je iz tega sklepal, da prevaja mitogenetske signale UV svetloba. Njegovo sevanje je leta 1928 potrdil tudi znani fizik Dennis Gabor, odkritelj holografije in nobelovec. Gurvič in drugi so nadaljevali z raziskavami, toda manjkal je ključni fizikalni dokaz za obstoj šibke UV svetlobe, ki naj bi jo izžarevali organizmi. Občutljivost takratnih naprav (še okoli leta 1940) je bila na meji dokazljivosti, da organizmi resnično izžarevajo nekakšno svetlobo.



Slika VI-1: prikaz Gurvičevega poskusa z mitogenetskim sevanjem

Po drugi svetovni vojni se je tehnologija svetlobnih meritev s fotopomnoževalkami začela naglo razvijati. Postopoma je postalo možno zaznavati stokrat šibkejšo svetlobno jakosti kot v Gurvičevih časih. Leta 1954 so italijanski znanstveniki (Colli, Facchini in sodelavci) prvič nedvoumno dokazali, da različni kalčki oddajajo svetlobo (Popp 1984: 34-41). Resda ni bila ultravijolična, temveč nekje med zeleno in rdečo barvo, in njena intenzivnost je bila le nekaj 100 fotonov na cm^2 na sekundo, kar je okoli 10^{18} krat šibkejšo od normalne dnevne svetlobe. Italijanska skupina, ki po vsej verjetnosti niti ni vedela za Gurviča, je svoje meritve obravnavala kot nekaj nenavadnega, nekakšen kuriozum, zato je nadaljevala z dotedanjimi raziskavami jedrske fizike in opustila svetlobne meritve. Pravo delo na *ultrašibki bioluminiscenci*, kot se danes to področje imenuje, pa je nadaljevala najprej širša skupina Rusov, kasneje pa še mnogi drugi znanstveniki širom po svetu. Med njimi je danes najbolj uveljavljen nemški biofizik Fritz A. Popp.

Poglejmo sedaj, kakšni so izsledki biologije svetlobe danes, sedemdeset let po osnovnem odkritju. Medtem so se naprave za merjenje šibkega fotonskega sevanja že zelo izpopolnile, tako da danes biofotone merimo s posebnim sistemom za fotonsko štetje in pretvorbo v dvodimenzionalno sliko (Mei 1994). Iz take slike se da razbrati, kje v nekem živem sistemu je bilo največ sevanja - pri sojinah ali

kumaričnih kalčkov, na primer, prihaja največ biofotonov iz hipokotila in s stika med radikulo in plumulo, medtem ko je sevanja relativno malo iz same plumule ali kotiledonov (Mei 1994).

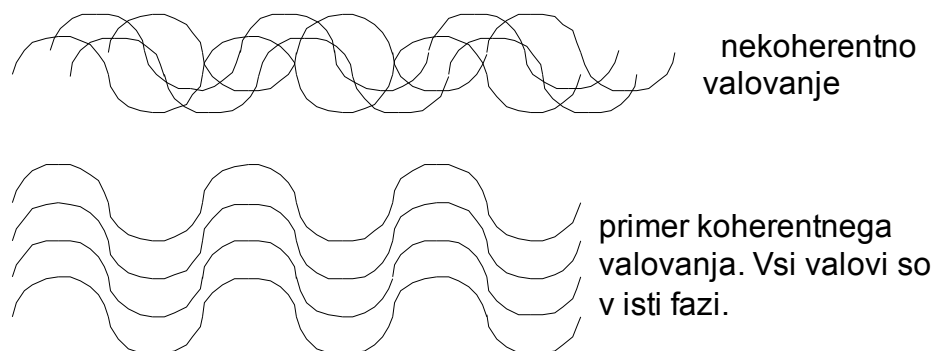
1.1.2 Fizikalne lastnosti ultrašibke bioluminiscence

Tudi danes v znanstvenem svetu še vedno ni enotnega mnenja, kaj je ultrašibka bioluminiscenca. En tabor - redukcioniisti - trdijo, da je obravnavana bioluminiscenca le neko redko in statistično odstopanje od normalnih energetskih procesov pri metabolizmu. V teh redkih primerih naj se prosta energija ne bi sprostil po normalnih kemijskih in elektronskih poteh, temveč bi producirala foton. Ultrašibka luminiscenca je po naziranju te, tako imenovane *teorije nepopolnosti* le nekoliko aberanten epifenomen metabolne kemije, torej ne *bioluminiscenca* temveč *kemiluminiscenca* (Popp 1992). Tej nasprotna je *koherentna teorija*, ki temelji na fiziki interakcij šibkega sevanja z optično gosto materijo. Trdi, da izhajajo biofotoni iz delokaliziranega koherentnega elektromagnetnega polja v živem tkivu. To polje - v skladu s Poppom ga bomo imenovali kar *biofotonsko polje* - naj bi bilo stabilizirano na prehodu med kaotičnim in urejenim režimom in daleč stran od termodinamskega ravnovesja. Mnogi fizikalni in biološki izsledki raziskav ultrašibke bioluminiscence, ki si jih bomo v grobih obrisih ogledali v nadaljevanju, nagibajo tehniko močno v smer druge teorije.

Spoznanja znanstvenikov s tega področja kažejo, da je šibko biološko sevanje fotonov, ki se razteza po širokem razponu valovnih dolžin, značilno za skoraj vse vrste organizmov. To sevanje je tako šibko, da ga lahko opazujemo le s posebnimi elektronskimi fotopomnoževalnimi sistemi in ga ne smemo mešati z bioluminiscenco kakih kresnic, ki je mnogo močnejša. Tipična ultrašibka fotonska emisija znaša nekaj 10 do nekaj 100 fotonov/(cm².s) in jo merijo med valovnima dolžinama 200 - 800nm (glej na primer Popp 1981, 1984, Popp & sod. 1992). Posamezna celica organizma torej le redko izseva kak foton. To pa še ne pomeni, da je ta svetloba dejansko šibka. Nasprotno, vse kaže, da je svetloba v organizmih dejansko precej intenzivna, vendar skoraj ne seva, saj ostaja v organizmu, kjer se prevaja preko absorpcije in ponovnega sevanja med molekulami organizma. Na ta način lahko sproži ustrezne fotokemične procese v celici in tako sproži kemijske reakcije, potrebne za celično življenje. Biofotonsko polje torej vskladišča mnogo več svetlobe, kot jo zaznamo s fotopomnoževalkami. Dokaz za to je tako imenovana zapoznela (*delayed*) bioluminiscenca po obsevanju živih objektov z močno svetlobo. Do dve uri lahko traja, da pride na primer sevanje kumaričnih kalic do normalne ravni fotonskega sevanja. Za tiste, ki ste doma v matematiki, lahko dodava, da empirično ugotovljena krivulja padanja sledi hiperbolični in ne eksponencialni zakonitosti. Z drugimi besedami to pomeni, da so na delu močni kooperativni procesi, ki so sposobni aktivno zadrževati svetlobo (Popp 1984: 68-78).

Podrobne raziskave ultrašibke bioluminiscence kažejo, da gre za koherentno, torej laserju podobno sevanje (Popp 1986); to je sposobno integrirati precej široka področja organizmov zaradi dolgih koherentnih časov (glej sliko VI-2). O koherenci in veliki sposobnosti skladiščenja svetlobe v

organizmih priča prej omenjeno hiperbolično izsevanje svetlobe po obsevanju organizma. Nekateri avtorji menijo, da je hiperbolično izsevanje celo dokaz oziroma povsem zadosten pogoj za koherenco biološke svetlobe (Popp & Li 1992). Poleg hiperboličnega sevanja koherentno naravo biofotonskega polja⁴ dokazuje tudi nizka stopnja statistične variabilnosti fotonskega štetja. Nizka variabilnost priča, da koherenca boluminiscence presega koherenco tehničnih laserjev tudi za faktor 10 (Popp 1992). Pomembna posledica tako visoke koherence biofotonov je tudi njihova prodornost skozi tkivo. Tako je bilo na podlagi meritev sevanja kumaričnih kalčkov ugotovljeno, da gredo biofotoni skozi oviro sojinih celic praktično brez izgub, medtem ko je intenzivnost umetne osvetlitve eksponentno padala. To pomeni, da lahko biofotoni delujejo kot prenašalci informacij na razdaljah, ki pokrivajo veliko število celic.



Slika VI-2: prikaz nekoherentnega in koherentnega valovanja

Naslednja pomembna in presenetljiva fizikalna lastnost biološke svetlobe je njena lastnost, da spektralna intenziteta z večanjem frekvence ne pada bistveno, oziroma da je porazdelitev energije precej enakomerna na vsem opazovanem frekvenčnem pasu. Temu pravi Popp zakon $f_\nu^{3/4}$ **konstantna**. V nasprotju s tem sevanje črnega telesa pri sobni temperaturi sledi logaritemski krivulji, kjer najdemo povprečno 1 foton v m^3 pri $\lambda \approx 1200$ nm (bližnja infrardeča svetloba), pri $\lambda \approx 500$ nm (zeleno-rumena) pa le še 10^{-30} in pri $\lambda \approx 200$ nm (bližnja UV) manj od 10^{-80} . Biološka svetloba je torej, vzeta kot celota pri vseh valovnih dolžinah, zelo daleč od termičnega ravnovesja, saj so izmerjeni energijski tokovi fotonov pri kratkih valovnih dolžinah večji od ravnovesnih tudi za faktor 10^{40} (Popp 1984: 61-67)! Ultrašibkost takega polja bi lahko pisali le še v narekovaju. Premoč biološkega fotonskega polja nad termičnim ravnovesjem si raziskovalci razlagajo predvsem kot posredni dokaz za

⁴ Ta pojem uporabljamo (za razliko od pojma ultrašibke bioluminiscence), da poleg svetlobe, ki seva, ponazorimo tudi tisto, ki jo organizem aktivno uporablja in je ne detektiramo kot sevanje.

njegovo aktivno, krmilno vlogo pri urejanju kemijskih reakcij v celici. Vsaka reakcija ima namreč svojo aktivacijsko energijo - in to lahko prispevajo fotoni ustrezne valovne dolžine (resonančni prenos energije). S tem je mogoče razložiti, zakaj so nekatere biokemijske reakcije *in vitro* precej počasnejše od istovrstnih reakcij *in vivo*. Vemo tudi, da lahko z obsevanjem z ustrezno svetlobo tudi v umetnih sistemih pospešimo kemijske reakcije.

Podobno zgornjemu zakonu in dodatna podpora tako za koherentno teorijo kot za tezo o biološki funkciji biofotonskega polja je dejstvo, da temperaturna odvisnost ultrašibkega sevanja ne sledi zakonu, ki predvideva približno enkratno povečanje termičnega fotonskega sevanja ob povišanju temperature za 10°C. Sevanje iz organizmov kaže namreč izrazito histerezne značilnosti, če se temperatura ciklično dviga in spušča. V skladu s takim nelinearnim odzivom je tudi visok intenzivnostni skok sevanja ob hitri temperaturni spremembi, ki mu sledi postopen padec intenzivnosti nazaj na normalo; podobne močne reakcije (*overshoot reaction*) poznamo tudi pri temperaturni odvisnosti mnogih fizioloških reakcij (Popp 1992). Poleg tega je ob optimalni temperaturi za organizme sevanje na najmanjši intenzivnostni stopnji, medtem ko se pojača, če gremo navzgor ali navzdol od optimalne temperature.

Predno se bomo podrobneje seznanili z biološkimi lastnostmi biofotonskega polja, si oglejmo še, kaj je izvor tega polja in kako nastane. Po koherentni teoriji nastane polje ob interakciji med na poseben način vzbujenimi biomolekulami, med katerimi prednjači DNA⁵. Gre za posebna vezana stanja dveh ali več molekul, imenovana ekscimeri in ekscipleksi, ki so obstojna le, dokler so v vzbujenem stanju. Ko se tako vzbujeno stanje sprosti, odda molekula foton - toda ta se lahko zopet absorbira v drugi molekuli ali kemijski reakciji. Le relativno malo fotonov uide organizmu, in te potem opazimo kot ultrašibko sevanje. Intenziteta zapoznele luminiscence po obsevanju organizma z zunanjim virom svetlobe kaže kvadratno odvisnost ($R \propto N^2$) od števila vpletenih biomolekul (sicer značilno za sevanje superradiantnega stanja vzbujenih delcev), kar raziskovalcem pomeni nadaljnjo potrditev za visoko koherenco, ki označuje ta pojav. Nekoherenta sevanja kažejo namreč izrazito linearno odvisnost ($R \propto N$; Gu 1992) (ta je posledica tega, da vzbujeni delci v tem primeru sevajo neodvisno en od drugega). Obravnavano polje se torej osnuje na ravni, ki jo opisujemo s kvantno mehaniko. Tudi za samo koherenco biofotonskega polja ni zadosten klasičen opis polja, temveč nam pravo podobo da šele njegov kvantnomehanski opis. To izhaja po drugi strani tudi iz dejstva, da s fotonskimi števci merimo celo posamezne fotone, torej kvante. Fotonsko polje, povezano z biomolekulami, vzpostavlja relativno široka področja koherence, kjer kažejo molekule daljnosežne in dolgotrajne kooperativne učinke (Gu 1992). Posamezne molekule v koherentni domeni tvorijo kompleksen sodelujoč sistem, ki ga je treba

⁵ Da je biofotonsko polje v glavnem vezano na DNA oziroma kromatin, je bilo tudi večkrat eksperimentalno potrjeno (Niggli 1992).

jemati kot celoto, oziroma, v terminih kvantne mehanike, kot kvantni objekt, ki ga ne smemo več notranje fragmentirati.

Raziskovalci, nadalje, predvidevajo, da je stanje biofotonskega polja blizu kritičnega (faznega) prehoda med urejenim (koherentnim, laserskim) in neurejenim (nekoherentnim) stanjem. V organizmu imamo torej opraviti s področji, ki so z vidika svetlobne koherence neurejena - ne kažejo daljnosežnih korelacij in kooperativnosti - ter področji, ki so vsaj do neke mere urejena; v prostorskem smislu ni nujno, da so med seboj strogo ločena, lahko se prežemajo in izmenjujejo. Isto velja za samo biofotonsko polje: tudi to kaže izmenjujoča se stanja popolne koherence, delne in popolne nekoherence. Do podobnega zaključka so prišli tudi člani Milanske skupine (o kateri bova še govorila), in sicer na povsem drugem področju raziskav bioelektromagnetnega polja. Kaže, da življenje zahteva posebno razmerje med redom in kaosom, oziroma poteka na meji med njima.

1.1.3 Biološke lastnosti in pomen sevanja

Svetlobo so opazili tako rekoč pri vseh bioloških vrstah, od *E. coli* do človeka (Mei 1994). Pri različnih vrstah je različne intenzivnosti in spektralnih lastnosti. Sevanje pa ni lastnost, ki bi jo opazili šele na ravni pro- ali evkariontskih organizmov, temveč obstaja tudi že pri celičnih ali tkivnih kulturah. Sevanje je lahko, nadalje, pomemben pokazatelj biološke kvalitete nekega prehranskega, poljedelskega ali kakega drugega artikla (Lambing 1992). Vsak artikel zahteva svoj pristop; tako je na primer biološko vrednost mleka potrebno obravnavati glede na njegovo sposobnost za shranitev svetlobe po iradiaciji - dalj ko jo je sposobno ohraniti, višja je njegova biološka vrednost. Pri jajcih pa je potrebno gledati obliko krivulje po iradiaciji; če je blizu hiperbolični, je jajce na biološko visoki ravni (prihaja na primer iz gnezda), če pa je blizu eksponentni, je jajce biološko oporečno (kaže na primer na to, da produkt prihaja iz pretesne kurje farme, ali pa je posledica slabe prehrane nesnic).

Glede na empirično odkrito tesno povezavo med fiziološkimi procesi organizma (rast, diferenciacija...) in značilnostmi ultrašibkega sevanja znanstveniki sklepajo, da svetloba ni nikakršen stranski produkt, epifenomen, temveč da je za življenjske procese vitalnega pomena. Biofotonsko polje je tako bodisi produkt fizioloških procesov, bodisi jih krmili. Čeprav se raziskovalci na podlagi mnogih dejstev, na primer že omenjenega zakona o enakomerni porazdelitvi energije po celotnem spektru frekvenc nagibajo k drugi možnosti, zaenkrat tega še niso nedvoumno dokazali. Sevanje je intenzivirano med hitro delitvijo celic, se pravi tudi pri malignih celicah, ter še zlasti ob soočenju s smrtjo, v agoniji - ne glede na vrsto ogroženja življenja. Ob zastrupitvi, na primer, celice niso več sposobne zadržati svetlobe in jo močneje izsevajo (Ruth & Popp 1976), ravno tako tudi ob smrti. Tkiva novotvorb kažejo povečini večje sevanje kot zdrava tkiva, čeprav obstajajo tudi izjeme pri nekaterih vrstah novotvorb. A neka raziskava na ljudeh je pokazala, da so bile tiste novotvorbe, ki so sevale podobno kot normalna tkiva, med najbolj benignimi; obratno pa so tiste, ki so sevale daleč nad

normalo, sodile k najbolj malignim. Druge analize svetlobnih značilnosti pokažejo, da se da vedno ločiti med normalnimi in rakavimi celicami (Musumeci & sod 1992).

Visoko korelacijo so opazili med bioluminiscenco in embrionalnim razvojem. Najbolj intenzivne procese pri embrijih vinske mušice (*Drosophila sp.*) so odkrili med zgodnjim embrionalnim razvojem, ko poteka določevanje glavnih oblikovnih vzorcev ličinke (Ho & sod. 1992). Populacija sinhrono razvijajočih se embrijev kaže visoko raven sevanja na začetku razvoja, naslednjih 16 ur pa sevanje upada do neke relativno konstantne vrednosti. Če embrije obsevamo z belo svetlobo, pada intenzivnost hiperbolično, kot to velja za organizme nasploh. Če pa so embrije izpostavili svetlobi le za kratek čas v ovkiru 40 minut po začetku embriogeneze, so odkrili povsem nov fenomen, namreč intenzivne in kratke sevalne impulze iz embrijev, ki so se pojavili vse od ene minute do osem ur po obsevanju s svetlobo. Dejstvo, da je bila pri sevalnih impulzih udeležena vsa njihova populacija, kaže na močne kooperativne svetlobne povezave **med embriji**. Biofotonsko polje torej naznačuje živo stanje embrijev in omogoča njihovo medsebojno sodelovanje.

Podobno povezovalno vlogo biofotonskega polja so opazili tudi pri kolonijah vodnih bolh (*Daphnia magna*; Galle 1992). Galle je študiral odnos med intenzivnostjo sevanja biofotonov in gostoto populacije vodnih bolh. Odkril je menjavanje minimumov in maksimumov pri naraščajoči gostoti; njihova lega pa je bila odvisna od velikosti individuumov in s tem od povprečne razdalje med njimi. Tudi iz tega je razvidno, da je lahko normalno tvorjenje rojev vodnih bolh podvrženo doslej povsem neznanim zakonitostim koherence medorganizmskega biofotonskega polja. Biofotoni so torej pomembni pri sinhronizaciji organizmov. Tako so zaznali visoko korelacijo v fotonski emisiji med različnimi dinoflagelati (na primer *Gonyaulax polyhedra*), ki so bili zgolj optično povezani, ob pretrganju te povezave pa korelacije ni bilo (Popp & sod. 1988, Popp & sod. 1994).

Odkritja o tesni povezavi med biofotonskim poljem in DNA nakazujejo, da je podvajanje DNA, ki predstavlja eno od najpomembnejših faz celičnega ciklusa, odvisno od koherence biofotonskega polja. Če je ta šibka ali se celo ukine, postane možnost za absorpcijo drugega fotona, potem ko je bil absorbiran prvi, dvakrat večja kot prej (Popp 1992b). Ker je s tem povečana verjetnost za mutacijo, sledi, da lahko pride do napak pri podvajanju DNA prej, če biofotonsko polje ni dovolj koherentno, kot če je. Popravljalni mehanizmi in mehanizmi podvajanja DNA so fizikalno povezani in utemeljeni na koherenci biofotonskega polja. Tako na primer bioluminiscenca iz kvasovk (*Sacharomyces sp.*) kaže močno korelacijo z delitvenim ciklusom celic. Maksimum je dosežen proti koncu faze S in v fazi G₂, ko poteka maksimalna sinteza DNA, kar potrjuje tesno medsebojno povezanost med DNA in biofotonskim poljem, oziroma, da je DNA osnovna struktura za izražanje biofotonskega polja (Mei 1992). Biofotonsko polje torej nikakor ni le neki fiziološki pojav, temveč lahko usodno deluje tudi na ravni genetskih

mehanizmov. S tem smo se tudi po tej plati približali naši dosedanji obravnavi, ki se je nanašala predvsem na gen.

1.2 TEORIJA IN RAZISKAVE ENDOGENIH KOHERENTNIH ELEKTROMAGNETNIH OSCILACIJ

1.2.1 Fröhlichova teorija

Teorije koherentnih elektromagnetnih (EM) oscilacij so se začele pojavljati ob koncu šestdesetih let, ko je angleški biofizik Herbert Fröhlich pričel obravnavati celice z vidika njihovega električnega polja in polarnih molekul. To delo je postavilo temelje novi biologiji, ki je utemeljena na osnovah (bio)fizike in ne več biokemije. Predpostavka prevladujoče redukcionistične paradigme je, da se da organizme in življenje razumeti z vidika njihovih osnovnih substanc oziroma molekul. Vsak organizem je po tej interpretaciji le ogromen in kompleksen molekularni agregat, katerega poslednja skrivnost delovanja je zakodirana v medmolekulskih interakcijah - in ko bomo slednje dodobra spoznali, bomo imeli vso skrivnost življenja na dlani. Toda Fröhlich je kot biofizik postal pozoren na izjemne fizikalne, zlasti dielektrične, lastnosti snovi v živih celicah in kasneje iz teh lastnosti izvedel tudi svojo predpostavko o endogenih elektromagnetnih koherentnih oscilacijah, ki v organizmih vzpostavljajo poseben red (glej Fröhlich 1975, 1988).

V svoji teoriji vidi predvsem tri bistvene lastnosti živih sistemov. Prvič, ti sistemi so stabilni, a daleč od ravnotežja - torej *metastabilni*. To je seveda tudi temeljna ugotovitev neravnovesne termodinamike živih sistemov. Pomembna je zato, ker le na podlagi odvečne proste energije, ki se ne more kar takoj sprostiti, lahko nastane neka posebna urejenost, ki omogoča svoje lastno nadaljevanje - gre torej za *stabilnost*. Drugič, organizme kot fizikalne sisteme označuje *ne-trivialni red*, ki pomeni visoko organizacijo materije in energije. Tu ne zadošča le koncept prostorske urejenosti, ki je v biologiji na splošno sprejet, temveč je pri tem pomembna tudi časovna urejenost. Tretjič, organizmi imajo izjemne *dielektrične lastnosti*. Vse te tri najsplošnejše lastnosti rezultirajo v koherentnih oscilacijah celičnih dipolov (v glavnem molekul ali njihovih agregatov). Specifične lastnosti, kot so na primer osnovna frekvenca in višji harmoniki, pa so določeni še z drugimi celičnimi lastnostmi, kot je na primer dolžina najdaljših makromolekul in lastnosti celične membrane. Tu je treba opozoriti, da je jakost električnega polja skozi membrano kar $10^6 - 10^7$ V/m. Ob tako močnem električnem polju v marsikateri snovi pride do električnega preboja. Molekule, podvržene takemu polju praviloma kažejo nelinearne odzive, kot je na primer sprememba strukture. Močno membransko polje povzroča visoko električno polarizacijo molekul, in oscilacije, ki pri tem nastanejo, bi po izračunih morale segati v področje mikrovalov s frekvenco okoli $10^{10} - 10^{11}$ Hz. Energijo zanje daje seveda metabolna energija. Prosta kemijska energija v organizmu se torej ne uporablja le za nešteto različnih kemijskih procesov, temveč

tudi za vzpostavljanje koherentnega reda, ki so mu podrejene tako rekoč vse molekule v celici. To si lahko predstavljamo, kot da so vse molekule potopljene v valujoče elektromagnetno okolje, znotraj katerega plešejo v istem ritmu.

Fröhlich je predvidel tri možne načine koherentnih osciliranj (Fröhlich 1988): a) vzpostavitev enega samega vibracijskega modusa, b) vzpostavitev visoko polarnega (feroelektričnega) metastabilnega stanja in c) vzpostavitev krožnega ciklusa v kompleksnih sistemih kemijskih interakcij. V slednjem primeru pride do povezave med nelinearno reakcijo encim-substrat in visoko polariziranimi električnimi stanji, kar vodi v zelo specifične koherentne oscilacije, značilne za določene kemijske interakcije (Kaiser 1992). Primer a) vodi do daljnosežnih koherentnih interakcij, v primeru b) pa je možen nastanek posebnih valov, ki ne izgubljajo energije in se imenujejo *solitoni*⁶, v splošnem pa privede do daljnosežnih metastabilnih polarizacij v celici. Taka polarizirana stanja bi lahko celici oziroma skupini celic dajala njeno polarnost - opazimo jo na primer pri epiteljskih celicah ali pri embrijih. Tako polarizacijo bi pomagali vzdrževati tudi celični ionski tokovi. Skratka, metastabilno polarno (feroelektrično) stanje celice naj bi bilo osnova za njeno orientacijo v prostoru in za prostorsko organizacijo njene notranjosti (na primer za ustrezno orientacijo proteinov).

Koherentne oscilacije dipolov v celici (primer a) se vzpostavijo, ko se električne vibracije resonančno prenesejo z ene celične komponente (na primer makromolekule) na druge. Ko je tu dosežena določena kritična točka v energiji valovanja, pride do tako imenovane bozonske⁷ kondenzacije, ko se vsa energija valovanja zbere pri največji valovni dolžini (oziroma v osnovnem nihajnem načinu ali vibracijskem modusu). Tedaj začnejo vse celične komponente vibrirati na tej valovni dolžini, in to v isti valovni fazi, torej koherentno. Fröhlich je izračunal, da bi koherentne oscilacije lahko omogočale urejenost medmolekularnih procesov in selektivnih privlakov med encimi in ustreznimi substrati (zlasti v primeru c). Zaradi daljnosežnosti koherentnih oscilacij⁸, ki se raztezajo tudi *med celicami*, te oscilacije niso le temelj znotrajceličnega reda, temveč tudi zunajceličnega. S tem v zvezi je zanimivo, da so po Fröhlichovem (in ne le po njegovem; glej na primer Cooper 1979) mnenju novotvorbe predvsem posledica dejstva, da nekatere celice zaradi spremenjenih notranjih lastnosti uidejo koherentnemu polju, ki vzpostavlja urejenost v okoliškem tkivu. Če je takih celic naenkrat preveč,

⁶ S solitoni v DNA, ki naj bi pomagali organizirati njeno delovanje, se danes ukvarja precej biofizikov (Yakushevich 1992). Teoretični in eksperimentalni podatki v zvezi z DNA solitoni govorijo v prid daljnosežnim učinkom, ko na primer en protein, vezan na DNA, deluje na drugi protein, ki je oddaljen več tisoč baznih parov. Solitoni naj bi sodelovali tudi pri fini regulaciji transkripcije, saj ob svoji poti skozi regulacijske regije spremenijo njihove lastnosti.

⁷ Bozoni so v fiziki kvanti, ki ne poznajo Paulijevega izključitvenega načela, kar pomeni, da se lahko kondenzirajo v enem energetskega stanju, čeprav imajo vse parametre enake.

⁸ Tudi njihova valovna dolžina je v milimetrskem obsegu, to pa je razdalja, ki lahko obsega ogromno celic.

se stabilno iztrgajo nadzoru in začne se neobzdana maligna rast. Spomnimo se, da so tudi lastnosti ultrašibke svetlobe, zlasti intenzivnost sevanja, pri malignih celicah dokazano spremenjene.

1.2.2 Eksperimentalne potrditve Fröhlichove teorije

Glede oddajanja milimetrskih koherentnih valov iz organizma v okolje - in s tem tudi možnosti detekcije koherentnih oscilacij - ugotavlja Fröhlich, da mora biti zaradi normalnega resonančnega prenosa energije, značilnega za koherentne oscilacije (skoraj brez izgub), ta le zelo majhna in predvsem značilna za defekte na notranjih celičnih ali medceličnih površinah. Kljub temu je zanimivo, da sta Pollock in Pohl z mikrodielektroforezo potrdila emisijo EM oscilacij iz celic, čeprav je pri tem šlo za nižje frekvence (4,2 - 9 Mhz; Pohl 1980, Pollock & Pohl 1988). Maksimalni učinki te emisije so bili vidni ob mitozih (v skladu s Fröhlichovo napovedjo), prav nobenih učinkov pa niso opazili pri mrtvih celicah. Oddajanje so zaznali v vseh glavnih taksonomskih skupinah organizmov. Podobno empirično podporo predstavljajo vrstno specifične agregacije živih eritrocitov v obliki svitkov (Giudice & sod. 1984). Do teh agregacij naj bi prišlo zaradi privlaka, ki ga vzpostavlja polje koherentnih oscilacij.

Do še pomembnejše potrditve Fröhlichove teorije je prišlo ob poskusih z obsevanjem kvasovk z umetno generiranimi milimetrskimi valovi s frekvenco okoli 40 Ghz in močjo okoli 1nW/cm^2 oziroma 5pW/cm^2 (Grundler & Kaiser 1992). Ugotovili so naslednje: a) hitrost rasti kulture je odvisna od frekvence in bodisi naraste bodisi pade za 10 - 20%, b) celovita podoba frekvenčne odvisnosti nakazuje resonančne učinke in c) oblika resonančne krivulje se lahko spreminja z uporabo radiacije različnih intenzivnosti. Vse skupaj močno nakazuje, da je v kvasovkah zares oscilirajoče polje, ki interferira že z zelo šibkim zunanjim poljem. Poleg omenjenih avtorjev so se interferenčnih poskusov lotili še drugi. Ti so obsevali različne biološke sisteme z valovi, katerih valovna dolžina je bila med 5 in 8 mm, ter dobili rezultate, ki so se ujemali s Fröhlichovo teorijo (Wu 1994). Kljub vsem tem posrednim dokazom za obstoj koherentnih EM oscilacij v organizmih pa pravega dokaza, ki bi bil dobljen na podlagi neposrednih merenj sevanja, še vedno ni.

1.2.3 Teorija Milanske skupine

Izhajajoč iz Fröhlichovega dela je razvila verjetno najbolj temeljito teorijo koherentnega biološkega polja italijanska skupina iz Milana, zbrana okoli Giudiceja (del Giudice & sod. 1984, 1988). Njihovo teoretično izhodišče za obravnavanje živih bitij je *kvantna teorija polja*. Ta teorija je sposobna napovedati, kako izhaja makroskopski red (na primer pri feromagnetih, pri supraprevodnikih) iz kolektivnih lastnosti mikroskopskih komponent. Seveda pa za razliko od statičnega reda (strukture) kristalov, magnetov in drugih neživih struktur živo bitje označuje drugačen, dinamičen (prostorsko časovni) tip urejenosti. Najpomembnejši parameter reda je tu **gostota električne polarizacije**. V tem kontekstu je živo bitje *končna postaja dinamične evolucije, ki izhaja iz osnovnih interakcij v množici*

električnih dipolov. Ob določeni gostoti električnih dipolov in pri stalnem dotoku proste energije postanejo polarizacijske oscilacije koherentne. Kvantna teorija polja predvideva za elektrodinamiko takega sistema, da se začne EM polje obnašati kot delec s silno majhno maso, se oblikuje v tanke filamente ter se ne širi v prostor. Taka filamentozna struktura je precej stabilna in traja celo nekaj časa po ukinitvi podčrtujočega reda dipolov. Zanimivo je, da korelacije med dipoli ne smejo biti niti premočne niti prešibke, če naj se vzpostavi filamentozni režim; življenje torej obstaja na meji med redom (koherenco) in neredom (nekoherenco), oziroma v sožitju različno urejenih področij. Spomnimo se, da so do zelo podobnega zaključka prišli tudi raziskovalci ultrašibke bioluminiscence. Filamentozno EM polje v organizmih seveda ni nekakšna zanimiva posebnost, epifenomen, temveč je osrednja bitnost, ki urejuje in usklajuje kemijske in (mikro)mehanske procese v celici. To polje naj bi vodilo nastanek in razgradnjo mikrotubulov ter drugih mikrofilamentov, ki sestavljajo celično ogrodje in gibalni sistem. Ob empirično dobljenih podatkih o gostoti in naravi električne polarizacije v živih celicah naj bi bila po izračunih kvantne elektrodinamike debelina EM mikrofilamentov praktično enaka mikrotubulom. Ti osnovni predstavniki celičnega ogrodja naj bi se gradili in razgrajevali preko neposredne indukcije filamentoznega polja. Če se namreč frekvenca EM filamenta resonančno ujame s frekvenco okoliške molekule, jo privleče na zunanjo površino in jo hkrati orientira. V filamentoznem polju bi se torej preko resonančne indukcije urejevale kemijske reakcije in se resonančno povezovale med seboj. Filamentozno urejene koherentne oscilacije bi v tem primeru zagotavljale potrebno urejenost kemijskih procesov v živih celicah.

Filamentozno polje je pomembno tudi s termodinamskega vidika: končna energija kemijske reakcije se tu ne razprši, temveč potuje kot polarizacijski val naprej. Podobno kot Fröhlich, tudi Giudicejeva skupina ugotavlja, da polje "uhaja" le ob razpokah in da je pri tem na vseh frekvencah koherentno - Popp bi temu rekel *multimodalni laser*. Tudi ta teoretična predvidevanja se ujemajo z empiričnimi ugotovitvami o značilnostih ultrašibke bioluminiscence (glej na primer Popp & Nagl 1988). Filamentozno polje ima še druge zanimive lastnosti: ob filamentih se na primer vzpostavi supraprevodni električni režim, kar daje osnovo za sicer težko razložljivo občutljivost organizmov na magnetno polje. Koherentni elektromagnetni red v organizmih je tako verjetno eden od najpomembnejših dejavnikov za izrazito nelinearno, težko reproducibilno občutljivost organizmov na celo paleto šibkih elektromagnetnih polj, ki je nikakor ne moremo pripisati toplotnim učinkom; pa tudi za druge mehanizme (na primer magnetni učinek na ionski pretok) so sile teh polj marsikdaj mnogo premajhne (Ho & sod. 1992, Edmonds 1994, Smith 1994). Supraprevodnost v organizmih pri povsem fizioloških temperaturah so na podlagi različnih meritev predpostavili že drugi avtorji. Cope je na primer meril podaljšano magnetizacijo v bioloških materialih in na podlagi tega ugotovil, da morajo biti mestoma supraprevodni. Še najbolj se

je v zvezi s tem zavzemal za DNA (Cope 1978, 1979). Do podobnih rezultatov je prišel tudi Miller, ki se je v teoriji tudi naslonil na Giudicejevo skupino (Miller 1992).

1.2.4 Koherenca, citoskelet in molekule

Ideje Fröhlichove in Giudicejeve šole združuje delo Hameroffa in drugih avtorjev, ki so se osredotočili predvsem na organizacijske in informacijske lastnosti celičnega skeleta (Hameroff 1988, Insinna 1992). Hameroff ugotavlja, da nudijo koherentne oscilacije Fröhlichovega tipa možnost medmolekularnega prepoznavanja. Citoskelet naj ne bi bil le celično ogrodje in gibalo, temveč zlasti informacijsko omrežje, nekakšen računalnik celice, katerega osnovo predstavlja Giudicejevo filamentozno polje. To potrjujejo empirična spoznanja o posebni elektretni, piroelektrični in piezoelektrični naravi citoskeletnih elementov, zlasti mikrotubulov. V veliki meri sicer že razumemo mehanizme skrčitev migetalk in bičkov na podlagi klasične biokemije in biofizike, prav tako mehanizme aksoplazemskega transporta s koordinirano aktivnostjo mikrotubularnih ročic iz proteina dineina, toda kot v prej navedenih podobnih primerih ostaja odprto vprašanje globalne koordinacije vseh teh gibov. Mikrotubuli niso le citoskelet in celično gibalo, temveč so povezani z različnimi senzorji v čutnicah, ki predstavljajo preobražene cilije. Zelo pomembno funkcijo opravljajo mikrotubuli ob delitvi celice, kjer se organizirajo na podlagi centriolov, ki so zopet zgrajeni iz mikrotubulov. Poleg tega so mikrotubuli udeleženi v izgradnji tako imenovane mikrotubularne mreže, kjer se povežejo s posebnimi proteini in omogočajo urejeno znotrajcelično gibanje snovi in povezave med celičnimi oddelki. Celična notranost mora biti torej visoko in dinamično urejena, kar pomeni, da bi morala tudi voda obstajati v urejenem, strukturiranem stanju in ne v prostem (Brownovem) gibanju, kot si to predstavljata klasična biologija in biofizika.

Filamentozno polje koherentnih oscilacij naj bi torej preko celičnega skeleta (predvsem mikrotubulov) koordiniralo ne le kemijske procese, temveč tudi pretoke snovi, gibanje, celično zaznavo in usmerjalo os delitvenega vretena. S slednjim bi vpliv filamentoznega polja prehajal že na organizmsko raven, saj je od osi delitvenega vretena pri embriogenezi odvisna morfogeneza organizma. Po Hameroffu naj bi med samimi elementi citoskeleta nastala holografska interferenca, ki bi nudila vsakemu elementu celice informacijo o celoti (Hameroff 1988). Celica naj bi bila nekakšen miniaturni holografski računalnik. Tu naj bi bili celo temelji zavesti, nekakšna celična zavest.

Neposredno na Fröhlichovo in Giudicejevo delo se navezujejo tudi empirične in teoretične ugotovitve v zvezi z elektromagnetnimi lastnostmi encimov. Ob raziskovanju proteinov je prišel na primer Kell do spoznanja, da morajo te molekule, če naj bodo biološko zares visoko funkcionalne, imeti *intramolekularno* koherenco (Kell 1988). Ta mora biti povezana z medmolekularno koherenco, ki zagotavlja učinkovit prenos energije (skoraj brez izgub) preko resonance. Tak sistem prenosa energije naj bi bil značilen na primer za membranski sistem elektronskega prenosa. Hkrati je pomembno, da so

proteini lahko zelo občutljivi na delovanje zunanjega električnega polja in da lahko ob delovanju le-tega spremenijo svojo konformacijo in s tem encimsko aktivnost. Sicer pa sposobnost encimov, da "lovijo" in prenašajo prosto energijo iz zunanjega oscilirajočega električnega polja, empirično ugotavljajo tudi drugi avtorji (Westerhoff & sod. 1986). O še bolj nenavadnih lastnosti encimov *vis a vis* EM polju govori Smith (Smith 1988, 1994). S sistematičnimi raziskavami lizocima v različnih EM poljih je spoznal, da nanj lahko vplivamo tako s statičnim, kot tudi z nizkofrekvenčnim in visokofrekvenčnim magnetnim poljem - celo s svetlobo ter s protonsko magnetno resonanco. Učinek te spremembe je ostal celo dalj časa po ekspoziciji, zaradi česar govori o nekašnem spominu encima. Z različnimi frekvencami (od 50 kHz do 300 MHz) ga je lahko aktiviral ali inhibiral, kar jasno kaže na resonančne učinke.

Zanimive stvari pa se nam odprejo tudi, če pogledamo na raven samih molekul. Tudi tu se nam lahko pokaže precej drugačna slika od tiste, ki jo dobimo po učbenikih. Liberman s sodelavci na primer trdi, da lahko posamezna molekula preko svojih vibracij (fononov) trenutno "razišče" vse celične molekularne strukture in se na ta način v celici pravilno orientira oziroma vstopa urejeno v odnose z drugimi molekulami (Liberman & sod. 1989). Temu pravijo tudi *kvantno molekularni računalnik*. Fononi (kvanti zvočnih vibracij) naj bi kot valovi raziskali celično celoto in se nato absorbirali na ustreznem molekularnem akceptorju. Conrad celo matematično dokazuje, kako lahko molekula na ravni valovne funkcije (Bohmovega implikatnega reda) razišče različne energetske konfiguracije in najde tisto, ki je optimalna za povezavo z drugo molekulo - v tem stanju se nato zgodi kolaps valovne funkcije, ali v nefizikom bolj razumljivem jeziku, na tej točki se doseže ustrezna povezava kot zaznaven fizičen dogodek v eksplikatnem redu (Conrad 1993). Molekula torej deluje kot poseben računalnik, ali raje senzor, na ravni kvantne mehanike. Biološki molekularni sistemi kot nekakšni kvantnomehanski računalniki imajo po nekaterih zagotovilih tudi bistveno večje sposobnosti od klasičnih paralelnih računalnikov (Conrad 1993). Nekateri avtorji s Conradom na čelu govorijo celo o molekularni inteligenci. Hong podaja celo več molekularnobioloških sistemov, ki kažejo prilagodljivost, eno od najočitnejših označevalcev inteligence (Hong 1992). Tako ugotavlja inteligenco pri bakteriorodopsinu, saj kažejo izsledki raziskav, da se je ta molekula sposobna smiselno odzvati na spremembe v okolju. To izhaja iz njenih sposobnosti, da se v povezavi s spremembo okoliškega pH temu konformacijsko prilagodi in s tem ohranja svojo funkcijo pretvorbe svetlobne energije v kemijsko (v obliki ATP).

Posebno poglavje so valovne kvantnomehanske značilnosti bioloških molekul. Tako se na primer elementi C, H, N in O, ki se v omenjenem zaporedju glede na biološko pomembnost pojavljajo v najvažnejših strukturah živih bitij, v enakem vrstnem redu nahajajo tudi na razvrstitveni lestvici elementov z najnižjo toplotno kapaciteto, ki je naslednja: C, H, B, N, Si, O... Očitno je torej, da so prav nukleinske kisline in proteini idealni za izražanje subtilnih valovnih kvantnih pojavov - ti so namreč bolj izraziti pri strukturah z nizko toplotno kapaciteto (Cochran 1991, Miller 1992). Cochran iz tega zaključí,

da so življenje in valovne kvantne značilnosti materije zelo tesno povezani (Cochran 1993). Najpomembnejša posledica te povezanosti je, da kvantne zakonitosti ščitijo te strukture pred termalnim neredom iz okolja, tako da lahko nemoteno opravljajo svojo pomembno biološko funkcijo.

Ideja o molekularnem kvantnomehanskem računalniku se ujema z Bohmovo idejo o kvantnem potencialu, ki vsakemu delcu (elektronu, atomu...) podaja trenutno informacijo o širšem prostoru, v katerem se nahaja, in ga na neki način usmerja pri njegovi poti (Bohm & Hiley 1975). Pri sistemih, kjer je v interakciji hkrati veliko delcev, postane moč kvantnega potenciala v primerjavi z navadnimi potenciali zanemarljivo majhna, zato se makroskopski sistemi ne obnašajo alocalno. Drugačna situacija pa nastopi, kadar so makroskopski sistemi notranje urejeni, koherentni. Tedaj postanejo ena sama kvantna entiteta (Li & Popp 1992) in se lahko subtilni kvantnomehanski alocalni učinki pokažejo tudi na makroskopski ravni. Če torej povežemo biološko koherentno polje in kvantnomehansko naravo molekul, ki se nahajajo v takem polju, pridemo do povsem nove slike o naravi živega stanja, kjer vihti vajeti kvantna alocalnost in se v veliki meri ujema z v prejšnjem poglavju obravnavanim teoretskim konceptom organizmskega toka.

1.3 BIOLOŠKA KOHERENCA Z VIDIKA TERMODINAMIKE

Do sedaj prikazana teoretična izvajanja in empirične raziskave se niso preveč sukala okoli termodinamike, temveč so le preprosto privzela, da je v organizmih veliko proste energije, ki se lahko ob določenih pogojih usmeri v nastanek koherentnih oscilacij ali biofotonskega polja. Toda termodinamika zahteva pri utemeljevanju nove biologije večjo pozornost, saj pripisuje uveljavljena biologija visoko urejenost organizmov izključno kooperativnim procesom, ki temeljijo na termodinamskem neravnovesju oziroma višku proste energije. Taktirko biološke urejenosti tedaj vihtijo zakonitosti samoorganizacije materije, ki izhajajo iz viška proste energije v bioloških sistemih. Na ravni molekul v tem primeru lahko vlada (ne)red Brownovega gibanja. Red se vzpostavlja šele na višjih ravneh biološke organizacije, podobno kot pri že omenjenih Bénardovih konvekcijskih celicah ali reakciji po Belousovu in Zhabotinskem (glej opombo 2). Toda zagovorniki nove biologije vsaj implicitno trdijo, da zahteva biološka urejenost še kaj več kot le klasične kooperativne procese, v katerih osnovi je Brownovo gibanje. To pa seveda tudi pomeni, da višek proste energije ni več edini vzvod biološke urejenosti. V tem primeru zahteva biologija posebno termodinamiko oziroma vsaj njeno temeljito revizijo.

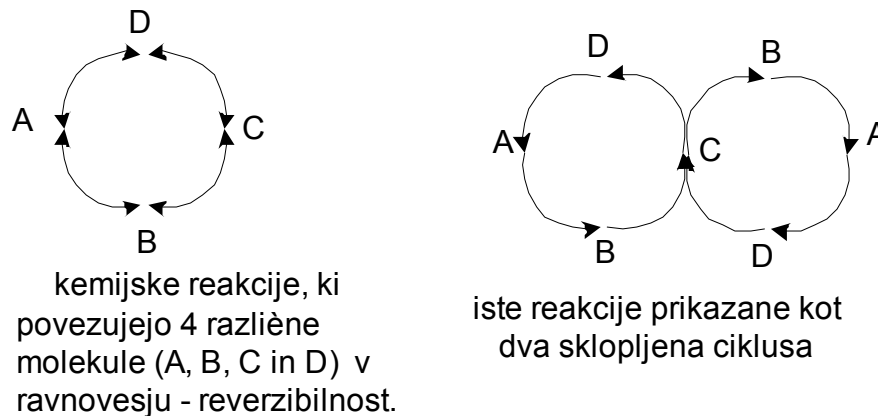
Najbolj temeljito se je tega bistvenega problema pri oblikovanju nove biologije lotila angleška biologinja Mae-Wan Ho v svoji knjigi z nekoliko poetičnim naslovom *The Rainbow and the Worm* (Mavrica in črv; Ho 1993) in v nekaterih drugih delih (Ho 1994). V tem razdelku si bomo na kratko ogledali bistvo njenega izvajanja in vanj vpletali še nekatere druge avtorje.

1.3.1 Kaskade, ciklusi in termodinamika molekul

Osnovna avtoričina ugotovitev je, da je življenje organizirano v smislu kaskade procesov z različnimi časovnimi in prostorskimi razsežnostmi. Mnogo procesov se začne na ravni ene same molekule, ki deluje kot nekakšen miniaturni (kvantni, molekularni) strojček, in se potem skozi večstopenjsko ojačitev prenesejo na makroskopski nivo, kjer lahko obvladujejo obnašanje celega organizma - in če je ta vodja svoje jate, tudi cele skupine organizmov. Primera kaskadnih procesov sta na primer fiziologija videnja in skrčenja mišice. Pri skrčitvi mišice, na primer, mora nepregledna množica molekul koordinirano opravljati določeno delo. Osnova tega procesa obstaja na razdalji 10^9 m (medmolekularni prostor medsebojnega drsenja aktina in miozina), v nadaljevanju pa se proces preko kaskad, ki vključujejo čedalje širše prostorske razsežnosti, zaključi na razdalji okoli 1 m, ki označuje razpon nekaterih naših mišic. Vse to zahteva koordiniran razkroj okoli 10^{20} molekul ATP! K vsemu temu lahko dodamo še koordinacijo večjega števila mišic in ponavljanje vsega tega, ko gre za kontinuirano gibanje, na primer hojo. Ker nastopajo v osnovi bioloških procesov marsikdaj posamezne molekule, kjer nimamo kaj delati s statističnim obravnavanjem klasične neravnovesne termodinamike, in tudi zaradi nenehno spreminjajočih se ravnovesnih konstant reakcij, klasična termodinamika, tudi neravnovesna, tu ni uporabna. Pomembnejši od pojma proste energije je pri organizmih koncept shranjene oziroma **vskladiščene** energije na molekularni ravni, ki ustreza molekularnemu delu. Na tej podlagi Hojeva znova formulira drugi zakon termodinamike: *uporabno delo je lahko opravljeno z neposrednim prenosom shranjene energije, medtem ko termalizirana energija ne more biti več preobrazena v shranjeno*. Življenje kot visoko organiziran proces zahteva, da so ti molekularni strojčki - izhodišča mnogo obsežnejših bioloških procesov - med seboj koordinirani oziroma povezani preko kvantne koherence. Živo stanje torej že zaradi termodinamskih razlogov ne dovoljuje pretirane molekularne neurejenosti v smislu Brownovega gibanja.

Druga pomembna termodinamska ugotovitev izhaja iz Morowitzovega teorema, ki pravi, da bo v sistemu, skozi katerega teče stalni tok energije in je v dinamičnem ravnovesju, nastal vsaj en cikel. In za življenje je res značilen stalen pretok energije, prav tako pa nešteti snovni in energetski ciklusi. Že iz biokemije je znano, da življenje temelji na ciklikih (na primer cikel citronske kisline, dihalna veriga s svojimi manjšimi cikliki, nešteto metabolnih ciklov), preko katerih se pretaka energija, neobhodno potrebna za življenje. V biosferi, nadalje, nenehno krožijo osnovni, za življenje neobhodni elementi (C,H,N,O,P,S,...). Kemijski ciklusi se lahko med seboj sklopijo do težko dosegljive, vendar možne termodinamske recipročnosti. V principu lahko torej vsaj nekateri procesi tečejo brez izgube energije. Primer take sklopitve je ravnovesno stanje, ko so snovi A, B in C, povezane v reakcijsko shemo $A \rightleftharpoons B \rightleftharpoons C$. Ob ravnovesju gre v smer ABCA ravno toliko pretvorbe kot v smer ACBA (obraten cikel); ta dva obratna ciklusa sta torej popolnoma sklopljena (glej sliko VI-3). Sicer pa ciklusi - zopet v nekakšnih

kaskadah - zajemajo celotno življenje od najpreprostejšega organizma do biosfere. Najdaljši cikel je verjetno povezan z vskladiščenjem ftonske energije; izračunali so, da je v biosferi vskladiščena povprečno 20-40 let. Toliko namreč v povprečju mine od ujetja fotonove energije pri fotosintezi do sprostitve te energije pri metabolizmu. Ko govorimo o vskladiščenju, moramo vedeti, da je poleg vskladiščene *molekularne* energije treba vzeti še energijo, vskladiščeno v *biološko organizacijo*. Pomembna značilnost življenja pa je, da so vsi ti ciklusi sklopljeni.



SLika VI-3: prikaz sklopljenih ciklusov v termodinamskem ravnovesju

1.3.2 Energetska razporeditev in lastnosti shranjene energije

če pogledamo vskladiščeno molekularno energijo pod drobnogledom, vidimo da je lahko porazdeljena v štirih prostostnih stopnjah z različnimi značilnimi energijami. Najnižji nivo je *translacijski* (to pomeni premočrtno gibanje molekule po prostoru), kjer so energije po molekulah razporejene praktično zvezno. Naslednji nivo je *rotacijski*, ko se energija vskladišči v vrtenje; tu že ni več povsem zvezne razporeditve, temveč obstaja mnogo diskretnih, kvantnih skokov. Tretji nivo molekularnega vznurjenja predstavlja energija, vskladiščena v molekularne *vibracije*; ta je že povsem kvantizirana. Na najvišjem nivoju se nahaja *elektronska* energija, to je energija, ki se vskladišči ob preskoku elektrona na višji energetske nivo; tudi ta je kvantizirana oziroma diskretna. če bi se vsa ta vskladiščena energija sprostila hkrati, naj bi se, po navedbah Hojeve telesa organizmov segrela tja do 3000°C. Vskladiščena energija je odvisna od časovno prostorske strukture sistema in se jo tako da natanko definirati. Termodinamika, primerna za organizme, bi bila torej termodinamika *organizirane kompleksnosti*, pri čemer lahko organizmi delujejo na tri načine: kot izotermni ravnovesni sistemi, termodinamski neravnovesni sistemi in kvantno molekularni sistemi. Za razliko od neživih sistemov je pri živih energija v povprečju dolgoročno vskladiščena in ustrezno usmerjena. Energija se v biosfero primarno ulovi kot elektronska, nato pa se razporedi (v smislu vskladiščenja) v molekularnih vezeh, kjer nastopa kot

prosta kemijska energija. Toda to ni konec zgodbe; energija se razporedi v organizmih tudi v strukturi sistema, v obliki različnih snovnih gradientov, elektromagnetnih polj, pretočnih vzorcev, višjih struktur... Taka energetska razporeditev omogoča organizmom, da svoje energije mobilizirajo koherentno, oziroma visoko koordinirano.

Kompleksna heterogenost organizmov je visoko organizirana, in takšna je lahko le na podlagi kolektivnega vedenja delcev, ki ga sicer obravnava fizika kondenzirane materije. Dva taka, v fiziki dobro znana in raziskana pojava sta *superfluidnost* in *superprevodnost*, ki pa oba nastopata pri zelo nizkih temperaturah. Pri visokih temperaturah, značilnih za organizme, je kolektivno vedenje možno zaradi termodinamske neravnovesnosti, kjer, kot smo videli, tudi v klasičnih primerih nastanejo koherentni pojavi (Bénardove konveksijske celice in reakcija po Belousovu in Zhabotinskem). Ko gre za ravnovesen prehod sistema v urejeno stanje (primeri tega so superfluidnost in superprevodnost ter feromagnetizem in kristalizacija) je dobljeni red statičen - pri neravnovesnih faznih prehodih pa je dinamičen. Sistem je tu v koherentnem gibanju, podobno kot pri laserju. Za razliko od klasičnega faznega prehoda (na primer pri že omenjenih konveksijskih celicah) gre tu za **kvantni** fazni prehod, ki smo si ga ogledali že pri Fröhlichu in Milanski skupini. Po tej interpretaciji organizmi predstavljajo poseben primer trdnega stanja materije zaradi tesne povezanosti polarnih molekul, kjer nastopi interakcija električnih in viskoelastičnih sil v živih celicah. Prosta energija se tu vskladišči v tri vrste kolektivnih vibracijskih modusov, kot to obravnava Fröhlichova teorija (Fröhlich 1988). Hojeva vidi tri bistvene biogene dejavnike koherentnih oscilacij: a) temelj daljnosežne urejenosti oziroma koordinacije bioloških procesov, b) vzpostavljanje hitrega in učinkovitega prenosa energije in c) ekstremne občutljivosti za specifične signale (pomnožitveni oziroma ojačitveni učinek).

1.3.3 Življenje je organizirano predvsem v posebnem trdnem agregatnem stanju

Podobno kot so trdili organicisti v 19. stoletju, ko so se upirali razvoju biokemije, tudi Hojeva trdi - a z močno utemeljitvijo -, da biokemijska homogenizacija povsem uniči biološki red. V organizmih namreč dejansko le malo proteinov "blodi" naokoli pod Brownovo taktirko, večinoma so povezani v proteinske komplekse; in tudi voda je večji del v strukturiranem stanju. Reakcije med encimi in substrati tako ne temeljijo na fizičnem stiku in ujemanju po načelu "ključ-ključavnica", saj se prav aktivni centri nenehno gibljejo in so le malokrat v ugodni poziciji za interakcijo. Za ustrezne reakcije naj bi bile odgovorne koherentne oscilacije, s čimer se strinjajo tudi nekateri biokemiki. Ustrezna frekvenca namreč lahko vsebuje tako informacijo kot energijo za določeno reakcijo. V realni celici kot trdnem stanju ima vsak protein svoje specifično okolje, oziroma ga označuje določena "citosociologija". Izolirani encimi so tako le še sence celičnih. Dokaz za to je prispevalo centrifugiranje evglene, kjer niso našli nobenih makromolekul v vrhni fazi (še vedno živih) celic, čeprav jih kar mrgoli pri centrifugiranju

evgleninih homogeniziranih celic. To je močan dokaz za tezo o trdnem stanju biološke materije. Tudi citosol, ki ga ponavadi obravnavamo kot koloidno raztopino, je dejansko prepleten z različnimi mikrofilamenti, ki tvorijo relativno gosto celično mrežo - malo je torej možnosti za normalno raztapljanje in Brownovo gibanje, voda je ob vseh polarnih površinah strukturirana. Tudi preluknjanje celične membrane z dekstran sulfatom pokaže, da difundira iz celice relativno malo snovi, celo majhnih molekul. Tu je več kot dovolj razlogov, da moramo biološke sisteme raziskovati na neinvaziven način, sicer bomo bolj malo izvedeli o pravi naravi živega.

če je biološka snov v posebnem trdnem stanju, pa kažejo toliko večjo mobilnost, pretočnost - elektroni in ioni. Njihov pretok, ki daje življenju energijo od fotosinteze naprej, je po svoji naravi tudi kvantnomehanski, saj na primer pozna tuneliranje⁹. Toda tudi pretok elektronov in ionov ni kaotičen, temveč visoko organiziran in tvori koherentno elektrodinamično polje, značilno za organizme.

1.3.4 Empirične utemeljitve biološke koherence

Po Hojevi še ni nedvoumnih dokazov za biološko koherenco, so pa posredne indikacije. Eno področje evidence za biološko koherenco prihaja iz že omenjenih bioloških učinkov šibkih EM polj, kjer odpovedo klasične razlage. Ogleдали smo si jih pri pregledu empiričnih potrditev Fröhlichove teorije. Drugo, tudi že obdelano, je področje ultrašibke bioluminiscence.

Tretje področje posrednih dokazov za biološko koherenco so nekatera novejša spoznanja o zelo hitrih in simultanih bioloških procesih. Biologija vida na primer kaže, da so konstante kemijskih reakcij, predpostavljenih za prenos fotonske energije do ustreznega živčnega impulza precej počasnejše, kot traja dejanski prenos. Poleg tega je poznano, da lahko ena sama fotonsko aktivirana rodopsinska molekula tako rekoč trenutno aktivira okoli 500 molekul transducina. To je zelo težko razložiti z biokemiji poznanimi, zgolj na Brownovem gibanju temelječimi, encimskimi mehanizmi. Gre preprosto za tako rekoč **trenutni prenos in ojačanje** vhodnega signala (Ho 1989).

Podoben primer je skrčenje mišice. Natančne meritve časovnih značilnosti posameznih faz mišične kontrakcije (na primer izločenje Ca^{++} takoj po vzburjenju mišične celice, takojšnja kontrakcija mišice po izločitvi Ca^{++} iz sarkoplazmatskega retikuluma) navajajo na sklep, da se energija za to delo ne prenaša na kemijski način in z difuzijo, temveč z neposrednim resonančnim prenosom in da je pri tem potrebna **dalnosežna koherenca pri prenosu energije**. Resonančni prenos energije hkrati pomeni zelo majhno entropijo (oziroma izgubo za delo sposobne energije) in s tem zelo visoko učinkovitost (učinkovitost se bliža 100%!); poleg tega pa je lahko zelo selektiven. Do tega ni prišla šele Hojeva v 90. letih, temveč je to spoznal McClare že na začetku 70. let (McClare 1971, 1972). Obstaja

⁹ Kvantno tuneliranje je pojav, pri katerem gre elementarni delec skozi bariero, ki zahteva za svoj preboj višjo energijo, kot jo ima on. Vendarle se nekaterim delcem uspe prebiti skozi - kot bi nenadoma skozi sicer nepremostljivo bariero našli tunel. V makroskopskem svetu česa takega (žal) ni.

matematični dokaz, da povezani oscilatorji sčasoma postanejo sinhroni (sklopljeni). Tak kvantni sklop je značilen zlasti za mišice, kjer ne moremo govoriti o statističnem Brownovem gibanju.

četrto področje je povsem novo in ga je odkrila sama avtorica (glej Ho 1993: 136-9, Ho & Saunders 1994) in je dalo ime njeni knjigi. Gre za pogled na organizme (predvsem so delali z embrii vinske mušice) skozi nekonvencionalno uporabljen polarizacijski mikroskop. Ta pokaže izredno urejenost bioloških molekul znotraj **živega** organizma preko različne obarvanosti tkiv. Opozoriti je treba, da tu ne gre za kako obarvanje od zunaj, temveč za barve, ki ustrezajo orientaciji bioloških molekul, ki so očitno v stanju tekočih kristalov in so osvetljene z belo svetlobo. Barve se spreminjajo v odvisnosti od starostne stopnje embria in v odvisnosti od fiziološkega in energetskega stanja organizma. Na koncu embriogeneze, preden se začnejo embrii premikati, se zgodi fazni prehod v koherentno razporeditev, ki je podobna ureditvi tekočih kristalov v magnetnem in električnem polju. Značilno je, da mrtvi organizmi ne kažejo več nikakršnih barv. Skozi raziskovanje barv so odkrili, da v različnih živalih anteriorno posteriorna os vedno ustreza glavni polarizacijski osi vseh tkiv v organizmu, kar je zopet indikacija za obstoj globalnega koherentnega polja, ki to urejuje. Dinamični red organizmov se torej da tudi videti, ne da bi bilo treba organizem prizadeti ali ubiti - torej z neinvazivnimi tehnikami, ki ne posegajo v naravo življenja.

1.3.5 Živo stanje označuje kvantna koherenca

Kvantna koherenca, ki označuje živo stanje, omogoča simultano globalno povezanost in lokalno svobodo (lokalnost). Tu torej ne gre za uniformnost, temveč bi bil bolj ustrezen model *harmonije različnosti*. Kvantna koherenca je bistvena za organizme, ker je a) neobhodna za koordinacijo bioloških molekul - kvantnih strojev in b) zaradi hitrosti daljnosežne koordinacije v živem sistemu. Ta koherenca ima v organizmih različne časovno prostorske dimenzije (na primer od ms do 10^7 s). Življenja torej tudi po tej plati ne moremo razumeti skozi očala statistične termodinamike (že zaradi drugačne narave energije in organizirane kompleksnosti). Drugi razlog za nezadostnost klasične termodinamske razlage je tudi v tem, da se je razvila na področju pretvarjanja mehanske in toplotne energije, medtem ko imamo pri organizmih opraviti z elektronskimi, električnimi in elektromagnetnimi energijami. Pomembna lastnost koherentnih sistemov je, da so v popolni in trenutni komunikaciji znotraj sebe in imajo zato učinkovito le eno prostostno stopnjo - njihova entropija naj bi bila enaka nič. Seveda organizmi niso perfektni koherentni sistemi, torej imajo neko entropijo, ta pa je lahko zelo majhna oziroma mnogo manjša, kot si to predstavlja konvencionalna termodinamika bioloških sistemov.

1.4 OD EMPIRIJE K TEORIJI

Živo stanje se v luči teoretičnih in predvsem empiričnih izsledkov nove biologije razodeva kot nekaj mnogo globljega od predstav modernih molekularnih redukcionistov. Jasno se kaže njegova

celovita narava, ki jo povzemajo tako koncept biofotonskega polja (Popp) kot koncepta kvantne koherence (Ho) ali polja koherentnih oscilacij (Giudice). Celovitost pa tu, zlasti ko gre za kvantnomehanske modele, ne nastane na nekem višjem nivoju, medtem ko bi "spodaj" še vedno vladal kaos; temveč je navzoča že na najnižji ravni biološke organizacije - na molekularni ravni. Če si ogledamo kaskadne procese, ki so značilni za življenje, se na prvi pogled zdi, kot da je vse po starem, saj so na njihovem začetku marsikdaj zopet molekule, ki imajo s tem nedvoumne vzročne moči. Toda to je le površen pogled. Posamezne molekule se lahko uveljavljajo v organizmih le zato, ker so nenehno vpete v njegovo celovito oziroma koherentno polje. Holizem, ki ga ponuja nova biologija, je torej res nekaj novega: ne gre le za ireducibilnost višje na nižjo raven, temveč za vsesplošno povezanost in soodvisnost posameznih ravni, kjer je pravzaprav že vprašljivo sploh govoriti o različnih ravneh. Bolj smiselno je govoriti o različnih vidikih organizmske celote, pri čemer lahko posamezen vidik zajema več klasičnih ravni (molekularno, celično, tkivno in druge). Že tu se pogled nove biologije ujema s holizmom, do katerega sva prišla sicer po povsem drugi poti, ko sva v biosu odkrivala različne dinamične entitete od informacijskega oblaka do filogenetskih tokov.

Vendar se povezava med novo biologijo in dinamičnim pojmovanjem biosa s tem ne končuje. Biološko polje, pa najsi gre za polje koherentnih oscilacij ali fotonsko polje, ni samo integrativno, je tudi izrazito dinamično. Še več, integrativno je prav po zaslugi zelo pretanjene dinamike, ki ji pravimo koherenca - bodisi valovna bodisi kvantna¹⁰. Spomnimo se le na resonančni prenos energije pri mišični skrčitvi. Tako se tudi tu pokaže, da je dinamika bistvena za vzpostavitev celovitosti. In ker je celovitost tako bistvena za novo biologijo, je na dlani, da je obširen razvoj dinamičnih konceptov, ki sva ga načela v petem poglavju, neobhoden za uravnotežen in notranje usklajen razvoj nove biologije; postati mora sestavni del njene paradigme.

¹⁰ Razlika med obema pojmovoma koherence je kar velika: valovna koherenca pomeni, da imajo vsi valovi v dani razdalji od izvora isto fazo. Večja ko je ta razdalja, preden se faze začnejo razlikovati med seboj, večja je koherenca valovanja. Kvantna koherenca pa se nanaša na lastnosti nekega sistema, kadar ga lahko opišemo z valovno funkcijo in privede do alocalne koreliranosti njegovih elementov. V Bohmovem jeziku bi to pomenilo, da posamezni elementi, ki so lahko v eksplikativnem redu med seboj ločeni (na primer različni deli organizma), v implikativnem redu tvorijo nedeljivo celoto.

2 BIBLIOGRAFIJA

1. Adey WR, 1980, Frequency and power windowing in tissue interactions with weak electromagnetic fields, *Proc.IEEE*, 68(1): 119-25.
2. Alberts B & sod., 1989, *Molecular biology of the cell*, Garland publishing Inc., New York & London.
3. Alcock J, 1993, *Animal behavior*, Sinauer Associates, Inc., Sunderland.
4. Alexander RD, 1974, The evolution of social behavior, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 325-83.
5. Anderson D, 1972, More is different, *Science*, 177(4047): 393-6.
6. Ardrey R, 1970, *The social contract*, Collins, London.
7. Ayala F, 1984, Reduction in biology, v: *Evolution at Crossroads*, Bradford Book, Cambridge, 65-79.
8. Bahn DR, Fox SW, 1981, Models for protocellular photophosphorilation, *BioSystems*, 14: 3-14.
9. Baltimore D, 1977, Viruses, polymerases and cancer, v: *Nobel lectures in molecular biology 1933-1975*, Elsevier, New York, 495-506.
10. Baltimore D, 1985, Retrovirus and retrotransposons: the role of reverse transcription in shaping the eukaryotic genome, *Cell*, 15: 481-2.
11. Bateson P, 1988, The active role of behaviour in evolution, v: *Evolutionary process and metaphors* (ur.: Ho M-W, Fox SW), John Wiley & Sons, Chichester, 191-207.
12. Belyaev IY, Alipov YD, Shcheglov VS, Polunin VA, Aizenberg OA, 1994, Cooperative response of *Escherichia coli* cells to the resonance effect of millimeter waves at super low intensitiy, *Electr.Magnetobiol.* 13(1): 53-66.
13. Benzer S, 1957, The elementary units of heredity, v: *The chemical basis of heredity* (ur.: McElroy WD, Glass B), Johns Hopkins Press, Baltimore: 70 - 93.
14. Bergson H, 1936, *L'evoluzione creatrice*, Corbaccio, Milano.
15. Berkovich SY, 1993, On the information processing capabilities of the brain: shifting the paradigm, *Nanobiology*, 2: 99-107.
16. Bertalanffy L, 1932, *Theoretische Biologie I*, Gebrueder Borntraeger, Berlin.
17. Bertalanffy L, 1952, *Problems of life*, Watts & Comp., London, 37-47.
18. Bibricher CK, Eigen M, Luce R, 1986, Template-free RNA synthesis by Q β replicase, *Nature*, 321: 89-91

19. Bohm D, 1982, *Wholeness and the implicate order*, Routledge & Kegan Paul, London, Boston.
20. Bohm DJ, Hiley BJ, 1975, On the intuitive understanding of nonlocality as implied by quantum theory, *Foundations of Physics*, 5(1): 93-109.
21. Bohm DJ, Hiley BJ, 1984, Measurement understood through the quantum potential approach, *Foundations of Physics*, 14(3): 255-74.
22. Bohm DJ, Hiley BJ, 1987, Ontological basis for the quantum theory, *Physics Reports*, 144: 321-35.
23. Brandon RN, 1985, Adaptation explanations, v: *Evolution at a crossroads* (ur.: Depew DJ, Weber BH), A Bradford Book, Cambridge, 81-96.
24. Bresch C & sod., 1980, Hypercycles, parasites and packages, *J.Theor.Biol.*, 85(3): 395-405.
25. Brooke S, Fox SW, 1981, Compartmentalisation in proteinoid microspheres, *BioSystems*, 9: 1-22.
26. Brown JR, 1993, *The laboratory of the mind*, Routledge, London.
27. Cairns J, Foster PL, 1991, Adaptive reversion of a frameshift mutation in *Escherichia coli*, *Genetics*, 128: 695-701.
28. Cairns J, Overbaugh J, Miller S, 1988, The origin of mutants, *Nature*, 335: 142-5.
29. Campbell DT, 1974, 'Downward causation' in hierarchically organized biological systems, v: *Studies in the Philosophy of Biology*, (ur.: Ayala F, Dobzhansky T), Macmillan, London, 179-86.
30. Campbell JH, 1983, Evolving concepts of multigene families, *Isozymes*, 10: 401-17.
31. Campbell JH, 1985, An organizational interpretation of evolution, v: *Evolution at crossroads* (ur.: Depew DJ, Weber BH), 133 - 67.
32. Capra F, 1991, *The Tao of Physics*, Shambala, Boston.
33. Cherfas J, 1988, Bacteria take the chance out of evolution. *New Scientist*; (22 Sept): 34-5.
34. Chisholm RM, 1979, The ontology of the possible, v: *The possible and the actual*, Cornell University Press, Ithaca, London, 80-7.
35. Chittenden GJF, Schwartz AW, 1981, Prebiotic photosynthetic reactions, *BioSystems*, 14: 15-32.
36. Cochran AA, 1991, Living organisms and quantum-mechanical wave properties of matter, *Journal of Biological Physics*, 18: 11-7.

37. Comte A, 1854, *Systcme de la politique positive*, L. Mathias, Paris.
38. Conrad M, 1993, Emergent computation through self-assembly, *Nanobiology*, 2(1): 5-30.
39. Cooper MS, 1979, Long range dielectric aspects of the eukaryotic cell cycle, *Physiol.Chem.Phys.*, 11(5): 435-43.
40. Cope FW, 1978, Discontinuous magnetic field effects (Barkhausen noise) in nucleic acids as evidence for room temperature organic superconduction, *Physiol.Chem.Phys.*, 10: 233-46.
41. Cope FW, 1979, Remnant magnetization in biological materials and systems as evidence for possible superconduction at room temperature: a preliminary survey, *Physiol.Chem.Phys*, 11: 65-69.
42. Cyone LM, 1985, A possible energetic role of mineral surfaces in chemical evolution, *Origins of Life*, 15: 161-206.
43. Darwin C, 1859, *On the origin of species by means of natural selection*, John Murray, London.
44. Davies KE, 1986, *Human genetic diseases: a practical approach*, IRL Press.
45. Dawkins R, 1976/1990, *The selfish gene*, Oxford University Press, Oxford.
46. Dawkins R, 1982/1990a, *The extended phenotype*, Freeman/Oxford University Press, Oxford.
47. Dawkins R, Krebs JR, 1978, Animal signals: information or manipulation?, v: Behavioral ecology (ur.: Krebs JR, Davies NB), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 282-309.
48. de Chardin PT, 1978, *Pojav človeka*, Mohorjeva družba, Celje.
49. del Giudice E, Doglia A, Milani M, 1984, Order and structures in living systems, v: *Nonlinear Electrodynamics in Biological Systems*, Plenum Publ. Corp., 477-87.
50. del Giudice E, Doglia A, Milani M, Vitello G, 1988, Structures, correlations and electromagnetic interactions in living matter, v: *Biological Coherence and Response to External Stimuli*, Springer Verlag, Berlin, 49-64.
51. Dickerson RE, 1978, Chemical evolution and the origin of life, *Sci.Am.*, 239(3): 62-78.
52. Dolinar D & sod., 1987, *Literatura*, Cankarjeva založba, Ljubljana.
53. Dose K, 1981, Ernst Haeckel's concept of an evolutionary origin of life, *Biosystems*, 13: 253-8.

54. Dover GA, 1982, Molecular drive: cohesive force of species evolution, *Nature*, 299: 111-7.
55. Dupré J, 1992, Species: theoretical contexts, v: *Keywords in evolutionary biology* (ur.: Keller EF, Lloyd EA), Harward Univ. Press, Cambridge, 312-17.
56. Edmonds DT, 1994, Possible mechanisms for biological effects of weak ELF electromagnetic fields, v: *Bioelectrodynamics and biocommunication* (ur.: Ho MW, Popp FA, Warnke U), World Scientific, Singapore, 109-30.
57. Eigen M, 1971, Selforganization of Matter and Evolution of Biological Macromolecules, *Naturwiss.*, 58: 465-523.
58. Eigen M, Schuster P, 1979, *The hypercycle*, Springer Verlag, Berlin.
59. Eigen M & sod., 1981, The origin of genetic information, *Sci.Am.*, 244(4): 88-118.
60. Elsasser WM, 1970, The role of individuality in biological theory, v: *Towards a theoretical biology III*, Aldine Publ. Comp., Chicago, 137-166.
61. Elsasser WM, 1982, The other side of molecular biology, *J. Theor. Biol.*, 96(1): 67-76.
62. Elsasser WM, 1983, Biological Application of the statistical concepts used in the second law, *J.Theor.Biol.*, 105(1): 103-116.
63. Emlen ST, 1984, Cooperative breeding in birds and mammals, v: *Behavioural ecology: an evolutionary approach* (ur.: Krebs JR, Davies NB), Sinauer Associates, Sunderland, 305-39.
64. Fenner F, 1965, Myxoma virus and *Oryctolagus cuniculus*: two colonizing species, v: *The genetics of colonizing species* (ur.: Baker HG, Stebbins GL), Academic Press, New York, 485-501.
65. Field RJ, 1985, Chemical organization in time and space, *Am.Sci.*, 73: 142-50.
66. Fisher RA, 1930, *The genetical theory of natural selection*, Clarendon Press, Oxford.
67. Foster PL, Cairns J, 1992, Mechanisms of directed mutation, *Genetics*, 131: 783-9.
68. Fox SW, 1980a, Metabolic microspheres, *Naturwissenschaften*, 67: 378-83.
69. Fox SW, 1980b, Life from an orderly cosmos, *Naturwissenschaften*, 67: 576-81.
70. Fox SW, 1986, The evolutionary sequence: origin and emergences. *Amer. Biol. Teacher*, 48: 140-9, 169.
71. Fox SW, 1988, Evolution outward and forward, v: *Evolutionary process and metaphors* (ur.: Ho M-W, Fox SW), John Wiley & Sons, Chichester, 17-33.
72. Fox SW, Nakashima T, 1980, The assembly and properties of protobiological structures, *BioSystems*, 12: 155-66.

73. Frankel J, 1982, Global patterning in single cells, *J.Theor.Biol.*, 99: 119-34.
74. Fröhlich H, 1975, The extraordinary dielectric properties of biological materials and the action of enzymes, *Proc.Natl. Acad.Sci.*, 72: 4211-5.
75. Fröhlich H, 1988, Theoretical physics and biology, v: *Biological Coherence and Response to External Stimuli*, Springer Verlag, Berlin, 1-24.
76. Futuyma DJ, 1986, *Evolutionary biology*, Sinauer Associates, Sunderland.
77. Galle M, 1992, Population density-dependence of biophoton emission from Daphnia, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 345-55.
78. Gatlin L, 1972, *Information theory and the living system*, Columbia University Press, New York, 16-19.
79. Goldschmidt RB, 1940, *The material basis of evolution*, Yale University Press, New Haven.
80. Goodwin BC, 1982, Development and evolution, *J.Theor.Biol.*, 97(1): 43-55.
81. Goodwin BC, 1984, A relational or field theory of reproduction and its evolutionary implications, v: *Beyond NeoDarwinism*, Academic Press, London, 219-41.
82. Goodwin BC, 1985, Developing organisms as self-organising fields, v: *Mathematical essays on growth and the emergence of form*, The university of Alberta Press, 185-200.
83. Goodwin BC, 1988, Morphogenesis and heredity, v: *Evolutionary process and metaphors* (ur.: Ho M-W, Fox SW), John Wiley & Sons, Chichester, 145-62.
84. Goodwin BC, 1990, Structuralism in biology, *Sci.Progress*, 74: 227-44.
85. Goodwin BC, 1993, Development as a robust natural process, v: *Thinking about biology* (ur.: Stein WD, Varela FJ), Addison-Wesley Publ. Comp., Massachussets, 123-48.
86. Goodwin BC, 1993b, Homology and a generative theory of biological form, *Acta Biotheoretica*, 41: 305-14.
87. Goodwin BC, Lacroix N, 1984, A further study of holoblastic cleavage fields, *J.Theor.Biol.*, 109(1):41-58.
88. Gould SJ, 1991, *Darwinova revolucija*, Krt, Ljubljana.
89. Gould SJ, Vrba ES, 1982, Exaptation - a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8: 4-15.

90. Grene M, 1984, Perception, interpretation and the sciences, v: *Evolution at Crossroads*, Bradford Book, Cambridge, 1-20.
91. Griffiths GM & sod., 1984, Somatic mutation and the maturation of immune response to 2-phenyl oxazolone, *Nature*, 312: 271-5.
92. Groth W, 1975, Photochemical formation of organic compounds from mixture of simple gases simulating the primitive atmosphere of the Earth, *BioSystems*, 6: 229-33.
93. Grundler W, Kaiser F, 1992, Experimental evidence for coherent excitations correlated with cell growth, *Nanobiology*, 1(2): 163-76.
94. Gu Q, 1992, Quantum theory of biophoton emission, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 59-112.
95. Hadži J. 1970, Razvojna pota živalstva, [??](#), Ljubljana
96. Haken H, 1983, *Synergetics, an introduction*, Springer Verlag, Berlin.
97. Hall BG, 1990, Spontaneous point mutations that occur more often when advantageous than when neutral, *Genetics*, 126: 5-16.
98. Hameroff SR, 1987, *Ultimate computing: biomolecular consciousness and nanotechnology*, Elsevier, Amsterdam.
99. Hameroff SR, 1988, Coherence in the Cytoskeleton, v: *Biological Coherence and Response to External Stimuli*, Springer Verlag, Berlin, 242-65.
100. Hamilton WD, 1963, The evolution of altruistic behavior, *American Naturalist*, 97: 31-3.
101. Hamilton WD, 1964, The genetical evolution of social behavior (I and II), *J.Theor.Biol.*, 7: 1-16; 17-52.
102. Harris RS, Longrich S, Rosenberg SR, 1994, Recombination in adaptive mutation, *Science*, 264: 258-60.
103. Hegel GWF, 1963, *Wissenschaft der Logik III*, Verlag Philipp Reclam Jun., Leipzig.
104. Heschl A, 1990, $L = C A$ a simple equation with astonishing consequences, *J.Theor.Biol.*, 145: 13-40.
105. Ho M-W, 1988, On not holding nature still, v: *Evolutionary process and metaphors* (ur.: Ho M-W, Fox SW), John Wiley & Sons, Chichester, 117-44.
106. Ho M-W, 1989, Coherent excitations and the physical foundation of life, *Epigenetic and Evolutionary order*, Edinburgh University Press, Edinburgh.

107. Ho M-W, 1990, An exercise in rational taxonomy, *J.Theor.Biol.*, 147: 43-57.
108. Ho M-W, 1993, *The Rainbow and the Worm*, World Scientific, Singapore.
109. Ho M-W, 1994, What is (Schrödinger) negentropy?, *Rivista di biologia - Biology Forum*, 87(2/3): 149-72.
110. Ho M-W, French A, Haffegge J, Saunders PT, 1994, Can weak magnetic fields (or potentials) affect pattern formation, v: *Bioelectrodynamics and biocommunication* (ur.: Ho MW, Popp FA, Warnke U), World Scientific, Singapore, 195-212.
111. Ho M-W, Fox SW, 1988, Processes and metaphors in evolution, v: *Evolutionary process and metaphors* (ur.: Ho M-W, Fox SW), John Wiley & Sons, Chichester, 1-16.
112. Ho M-W, Popp FA, 1993, Biological organization, coherence, and light emission from living organisms, v: *Thinking about biology* (ur.: Stein WD, Varela FJ), Addison-Wesley Publ. Comp., Massachusetts, 183-213.
113. Ho M-W, Saunders PT, 1994, Liquid crystalline mesophases in living organisms, v: *Bioelectrodynamics and biocommunication* (ur.: Ho MW, Popp FA, Warnke U), World Scientific, Singapore, 213-28
114. Ho M-W, Xu X, Ross S, Saunders PT, 1992, Light emission and restattering in synchronously developing population of early *Drosophila* embryos, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 287-306.
115. Ho M-W, Stone TA, Jerman I, Bolton J, Bolton H, Goodwin BC, Saunders PT, Robertson F, 1992, Brief exposure to weak static magnetic fields during early embryogenesis cause cuticular pattern abnormalities in *Drosophila* larvae, *Physics in Medicine and Biology* 37(5): 1171-9.
116. Holzman D, 1986, Catalytic RNA provides clues to evolution, *New Sci.*, 109(1491): 26.
117. Hong FT, 1992, 1992, Intelligent materials and intelligent microstructures in photobiology, *Nanobiology*, 1(1): 39-60.
118. Horowitz MP, 1977, The mechanism of clay catalysed polymerisation of amino acid adenylates, *BioSystems*, 9: 15-32.
119. Huxley TH, 1899, *Evolution and ethics and other essays*, D. Appleton, New York.
120. Insinna EM, 1992, Synchronicity and coherent excitations in microtubules, *Nanobiology*, 1: 191-208.
121. Ishima Y & sod., 1981, Electrical Membrane phenomena in spherules from proteinoids and lecithin, *BioSystems*, 13: 243-51.
122. Jacob F, 1974, *The logic of living systems*, Allen Lane, London.

123. Jerman F, 1979, *Logika za mlade*, Zavod SR Slovenije za šolstvo, Ljubljana.
124. Jerman I, 1987, Nekateri filozofsko metodološki problemi organici-tične biologije, *Anthropos*, 1-2: 361-7.
125. Jerman I, 1987, Moderni organicizem, *Biol. vestn.*, 35(2): 151-8.
126. Jerman I, 1996, *Continuity of biological entities according to classical and quantum biology*, Acta Analytica.
127. Jonas H, 1993, *The imperative of responsibility*, The University of Chicago Press, Chicago & London, 205.
128. Jung CG, 1990, Sinhronicitet: načelo neuzročnog povezivanja, v: *Tumačenje prirode i psihe*, Globus, Prosvjeta, Zagreb, 7-111.
129. Kaiser F, 1992, Biophysical models related to Fröhlich excitations, *Nanobiology*, 1(2): 140-61.
130. Kant I, 1993, *Kritika praktičnega uma*, Društvo za teoretsko psihoanalizo, Ljubljana.
131. Kaplan RW, 1981, Origin of life via hypercycles and similar protobionts, *Biol.Zentralblatt*, 100(1): 23-32.
132. Kauffman SA, 1985, Self-organization, selective adaptation and its limits, v: *Evolution at crossroads* (ur.: Depew DJ, Weber BH), 169-207.
133. Kauffman SA, 1986, Autocatalytic sets of proteins, *J.Theor.Biol.*, 119: 1-24.
134. Kauffman SA, 1993, *The origins of order*, Oxford University Press, New York.
135. Kaye HL, 1986, *The social meaning of modern biology - from social Darwinism to sociobiology*, Yale university press, New Haven and London.
136. Kell DB, 1988, Coherent Properties of Energy-Coupling Membrane Systems, *Biological Coherence and Response to External Stimuli*, Springer Verlag, Berlin, 231-41.
137. Kimura M, 1983, *The neutral theory of molecular evolution*, Cambridge University Press, Cambridge.
138. King GAM, 1980, Evolution of the coenzymes, *BioSystems*, 13(1-2): 23-46.
139. King GAM, 1981, Growth of a hypercycle and comparison with conventional autocatalysis, *BioSystems*, 13(4): 225-35.
140. King RC, Stansfield WD, 1985, *A dictionary of genetics*, Oxford University Press, New York, Oxford.
141. Kojc M, 1990, *Učbenik življenja*, Domus, Ljubljana.

142. Kuhn TS, 1974, *Struktura naučnih revolucija*, Nolit, Beograd, 50-64.
143. Küppers BO, 1994, *Information and the origin of life*, MIP Press, Cambridge.
144. Lahiri A, 1977, The functional approach in biology, *BioSystems* 9: 57-68.
145. Lacan J, 1988, *Etika psihoanalize*, Delavska enotnost, Ljubljana.
146. Lambing K, 1992, Biophoton Measurement as a supplement to the conventional consideration of food quality, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 393-411.
147. Leclerc J, 1958, *Whitehead's Metaphysics*, George Allen & Unwin Ltd., London, 96.
148. Leinfellner W, 1967, *Einführung in die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie*, Bibliografisches Institut, Mannheim.
149. Leinfellner W, 1988, Traditional ethics, ethical decision theory and evolutionary ethics, v: *Absolute values and the reassessment of the contemporary world*, Proceedings of the Seventeenth International Conference on the Unity of the Sciences, Los Angeles, 229-50.
150. Lennox JG, 1993, Teleology, v: *Keywords in evolutionary biology* (ur.: Keller EF, Lloyd EA), Harvard Univ. Press, Cambridge, 324-33.
151. Lermontov MJ, 1975, Ta dolgčas, ta žalost, v: *Izbrano delo*, Državna založba Slovenije, Ljubljana, 107.
152. Levinas E, 1976, *Totalitet i beskonačno*, Veselin Masleša, Sarajevo.
153. Lewin R, 1990, Can bacteria direct their own evolution?, *New Sci.*, 127: 31.
154. Li KH, Popp FA, 1992, Coherence and some quantum paradoxes, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 421-38.
155. Li WS, Graur D, 1991, *Fundamentals of Molecular Evolution*, Sinauer Associates, INC. Pub., Sunderland.
156. Liberman EA, Minina SV, Shklovsky-Kordi NE, 1989, Quantum molecular computer model and a pathway to the union of sciences, *BioSystems*, 22: 135-54.
157. Lipkind M, 1992, Can the vitalistic entelechia be a working instrument?, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 469-94.
158. Lloyd EA, 1992, Unit of selection, v: *Keywords in evolutionary biology* (ur.: Keller EF, Lloyd EA), Harvard Univ. Press, Cambridge, 334-40.
159. Lloyd S, 1995, Quantum mechanical computers, *Scientific American*, 273 (4): 44-50.

160. Lockwood M, 1989, *Mind, brain and the quantum*, Blackwell, Oxford
161. Lorenz K, 1966, *On aggression*, Methuen, London.
162. Lovelock JE, 1979, *Gaia: a new look at life on earth*, Oxford university press, Oxford.
163. Luisi PL, 1993, Defining the transition to life, v: *Thinking about biology* (ur.: Stein WD, Varela FJ), Addison-Wesley Publ. Comp., Massachussets, 17-39.
164. Luria SE, Delbrück M, 1943, Mutations of bacteria from virus sensitivity to virus resistance, *Genetics*, 28: 491-511.
165. Lycan W, 1979, The trouble with possible worlds. *The possible and the actual*, Cornell University Press, Ithaca, London, 274-316.
166. Majer B, 1975, *Osnove dialektičnega materializma*, Zavod za šolstvo SR Slovenije, Ljubljana.
167. Margulis L, 1974, The classification and evolution of Prokaryotes and Eukaryotes, v: *Handbook of genetics 1*, Plenum Press, 1-41.
168. Margulis L, Schwartz KV, 1982, *Five kingdoms: an illustrated guide to the phyla of life on earth*, WH Freeman.
169. Maynard Smith J, 1964, Group selection and kin selection, *Nature*, 201: 1145-7.
170. Mayr E, 1984, How Biology Differs from Physical Sciences, v: *Evolution at Crossroads*, Bradford Book, Cambridge, 43-63.
171. McClare CWF, 1971, Chemical machines, Maxwell's demon and living organisms, *J.Theor.Biol.*, 30: 1-34.
172. McClare CWF, 1972, A "molecular energy" muscle model, *J.Theor.Biol.*, 35: 569-95.
173. McClintock B, 1956, Controlling elements and the gene, *Cold Spring Harbor Symp.Quant.Biol.*, 21: 197-216.
174. Medawar PB, 1952, *An unsolved problem in biology*, HK Lewis, London.
175. Medawar PB, 1957, *The uniqueness of the individual*, Methuen, London.
176. Mei WP, 1992, Ultraweak photon emission from synchronized yeast as a function of the cell division cycle, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 243-58.
177. Mei WP, 1994, On the biological nature of biophotons, v: *Bioelectrodynamics and biocommunication* (ur.: Ho MW, Popp FA, Warnke U), World Scientific, Singapore, 269-83.
178. Midgley M, 1979, Gene-juggling, *Philosophy*, 54: 439-58.

179. Miller DA, 1992, Agency as a quantum-theoretic parameter: synthetic and descriptive utility for theoretical biology, *Nanobiology*, 1(3): 361-72.
180. Miller SL, Orgel LE, 1974, *The origins of life on the Earth*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs.
181. Monod J, 1969, *From biology to ethics*, Salk Institute for Biological Studies, San Diego.
182. Monod J, 1971, *Chance and necessity: an essay on the natural philosophy of modern biology*, AA Knopf, New York.
183. Musek J, 1987, Novejše koncepcije in raziskovanja altruizma - I.del: biološki, psihosocialni in osebnostni vidiki altruizma, *Anthropos*, 3-4: 149-67.
184. Musumeci F, Triglia A, Grasso F, 1992, Experimental evidence on ultraweak photon emission from normal and tumour human tissues, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 307-26.
185. Nagel E, 1961, *The structure of science*, Routledge and Kegan Paul, Cambridge.
186. Ng Y-K, 1995, Towards welfare biology: evolutionary economics of animal consciousness and suffering, *Biology and Philosophy*, 10 (3): 255-85.
187. Niggli HJ, 1992, Biophoton re-emission studies in carcinogenic mouse melanoma cells, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 231-42.
188. North G, 1987, Back to the RNA world and beyond, *Nature*, 328: 18-9.
189. Novaković S, 1971, Teorija naučnih revolucija, *Filozofske studije*, Filozofsko društvo Srbije, Beograd.
190. Nowak M, Sigmund K, 1993, A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the Prisoner's Dilemma game, *Nature*, 364: 56-8.
191. Nussinov MD, Maron VI, 1993, Impulse paradigm of self-organization of matter and the universe, *Nanobiology*, 2(3-4): 215-28.
192. Oparin AI, 1961, *Postanak života na Zemlji*, Nauka, Beograd.
193. Oparin AI, Gladilin KL, 1980, Evolution of self-assembly of proteins, *BioSystems*, 12: 133-45.
194. Orgel LE, 1986, RNA Catalysis and the origin of life (Mini review), *J.Theor.Biol.*, 123: 127-49.
195. Parker GA, Baker RR, Smith VGF, 1972, The origin and evolution of gametic dimorphism and the male-female phenomenon, *J.Theor.Biol.*, 36: 529-53.

196. Pavšič M, 1980, *Temelji genetike*, BF, VTOZD za Veterinarstvo, Ljubljana, 483-502.
197. Peruš M, 1995, *Vse v enem, eno v vsem*, DZS, Ljubljana.
198. Peterlin B, Komel R, 1989, Diagnostika genetskih bolezni z metodami rekombinantne DNK, *Medicinski razgledi*, 28: 347-57.
199. Pohl HA, 1980, Oscillating fields about growing cells, *Internat.J.Quantum Chem.: Quantum Biology Symposium*, 7: 411-31.
200. Polanyi M, 1976, Life's irreducible structure, v: *Topics in the Philosophy of Biology*, D.Riedel.Publ.Comp., Dordrecht, 128-41.
201. Pollock JK, Pohl DG, 1988, Emission of Radiation of Active Cells, *Biological Coherence and Response to External Stimuli*, Springer Verlag, Berlin, 139-47.
202. Pope SJ, 1994, *The evolution of altruism and the ordering of love*, Georgetown University Press, Washington DC.
203. Popp FA, 1984, *Biologie des Lichts*, Paul Parey Verlag, Berlin.
204. Popp FA, 1986, On the coherence of ultraweak photonemission from living systems, v: *Disequilibrium and Self-Organisation* (ur.: Kilmister CW), D. Reidel, Dordrecht.
205. Popp FA, 1992, Some essential questions of biophoton research and probable answers, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 1-46.
206. Popp FA, 1992b, Some remarks on biological consequences of a coherent biophoton field, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 357-73.
207. Popp FA, Chang JJ, Gu Q, Ho MW, 1994, Nonsubstantial biocommunication in terms of Dicke's theory, v: *Bioelectrodynamics and biocommunication* (ur.: Ho MW, Popp FA, Warnke U), World Scientific, Singapore, 293-317.
208. Popp FA, Li KH, 1992, Hyperbolic relaxation as a sufficient condition of a fully coherent ergodic field, v: *Recent advances in biophoton research and its applications* (ur.: Popp FA, Li KH, Gu Q), World Scientific, Singapore, 47-58.
209. Popp FA, Li KH, Mei WP, Galle M, Neurohr R, 1988, Physical aspects of biophotons, *Experientia*, 44: 576-85
210. Popp FA, Nagl W, 1988, Concerning the question of coherence in biological systems, *Cell Biophysics*, 13: 218-20.
211. Popp FA & sod., 1981, Emission of Visible and Ultraviolet Radiation by Active Biological Systems, *Collective Phenomena*, 3: 187-214.

212. Popp FA & sod., 1984, Biophoton Emission: New Evidence for Coherence and DNA as a Source, *Cell Biophysics*, 6: 33-52.
213. Popper KR, 1959, *The logic of scientific discovery*, Hutchinson, London.
214. Popper KR, 1976, *Unended quest*, Collins, Glasgow, 167-80.
215. Popper KR, 1978, *Conjectures and refutations*, Routledge & Kegan Paul, London, 33 - 9.
216. Popper KR, 1983, *Objective knowledge*, Oxford University Press, Oxford, 256-84.
217. Popper KR, Eccles JC, 1977, *The self and its brain*, Springer Verlag, Berlin.
218. Prusiner SB, 1992, Chemistry and biology of prions, *Biochemistry*, 31: 12277-88.
219. Przybylski AT, Stratten W, Syren RM, Fox SW, 1982; Membrane, action, and oscillatory potentials in simulated protocells, *Naturwissenschaften*, 69: 561-3.
220. Ptashne M & sod., 1980, How the lambda repressor and cro work, *Cell*, 19: 1-11.
221. Quillian WF, 1945, *The moral theory of evolutionary naturalism*, Yale University Press, New Haven.
222. Quine VW, 1963, *From a logical point of view*, Harper and Row, New York, 2-5.
223. Rai S, Singh UP, Mishra GD, Singh SP, Samarketu, 1994, Effect of water's microwave power density memory on fungal spore germination, *Electr. Magnetobiol.* 13(3): 247-52.
224. Rescher N, 1979, The ontology of the possible, *The possible and the actual*, Cornell University Press, Ithaca, London, 166-81.
225. Ridley M, 1986, *Animal behavior: a concise introduction*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 193-8.
226. Ridley M, Dawkins R, 1981, The natural selection of altruism, v: *Altruism and helping behavior* (ur.: Rushton JP, Sorentino RM), Erlbaum, Hillsdale, NJ, 19-39.
227. Rietman E, 1993, *Creating artificial life*, Windcrest/McGraw-Hill, Blue Ridge summit.
228. Root-Bernstein RS, 1982, The Problem of Problems, *J.Theor.Biol.*, 99(1): 193-201.
229. Rostand E, 1963, *Cyrano de Bergerac*, Cankarjeva založba, Ljubljana, 218.
230. Ruse M, 1978, Sociobiology: a philosophical analysis, v: *The sociobiology debate* (ur.: Caplan AL), Harper & Row, New York, 358-60.
231. Russell BAW, 1966, *Philosophical essays*, Allen & Unwin, London.

232. Ruth B, Popp FA, 1976, Experimentelle Untersuchungen zur ultraschwachen Photonenemission biologischer Systeme, *Zeitschrift Naturforschung*, 31c: 741-5.
233. Ružič R, Jerman I, Jeglič A, Fefer D, 1992, Electromagnetic Stimulation of Buds of *Castanea sativa* Mill. in Tissue Culture, *Electro- and Magnetobiology*, 11(2): 145-53.
234. Ružič R, Jerman I, Jeglič A, Fefer D, 1993, Various effects of pulsed and static magnetic fields on the development of *Castanea sativa* Mill. in tissue culture, *Electro- and Magnetobiology* 12(2): 165-177.
235. Saunders P, 1988, Sociobiology: a house built on sand, v: *Evolutionary process and metaphors* (ur.: Ho M-W, Fox SW), John Wiley & Sons, Chichester, 275-94.
236. Schlesinger AB, 1994, *Explaining life*, Mc Graw Hill, Inc., New York.
237. Schrödinger E, 1935, The present situation in quantum mechanics, v: *Quantum theory and measurement* (ur.: Wheeler J, Zurek W), Princeton University Press, Princeton, NJ.
238. Sermonti G, 1985, Four-square house, *Rivista di biologia*, 78 (4): 491-2.
239. Shannon CE, Weaver W, 1949, *The mathematical theory of communication*, University of Illinois Press, Urbana, Illinois.
240. Shapiro JA, 1984, Observation on the formation of clones containing *araB-lacZ* cistron fusions, *Mol.Gen.Genet.*, 194: 79-90.
241. Singer C, 1959, *A History of Biology*, Abelard-Schuman, London.
242. Smith CW, 1988, Electromagnetic Effects in Humans, v: *Biological Coherence and Response to External Stimuli*, Springer Verlag, Berlin, 205-32.
243. Smith CW, 1994, Biological effects of weak electromagnetic fields, v: *Bioelectrodynamics and biocommunication* (ur.: Ho MW, Popp FA, Warnke U), World Scientific, Singapore, 81-107.
244. Sousa R, 1991, Vrste vrst: individualnost in biološka vrsta, *Anthropos*, 4-5: 345-55
245. Sovre A, 1988, *Predsokratiki*, Slovenska matica, Ljubljana.
246. Stahl FW, 1988, A unicorn in the garden, *Nature*, 335: 112-3.
247. Stanulov N, 1966, On the concept of information and control, v: *Progress in biocybernetics*, 3, Elsevier Publ. Comp., Amsterdam, 197-204.
248. Stapp HP, 1988, Quantum nonlocality, *Foundations of Physics*, 18(4): 427-48.
249. Starc V, 1990, O znanosti in znanstvenem raziskovanju v medicini, *Medicinski razgledi*, 29: 85-118.

250. Stent GS, 1984, Hermeneutics and the analysis of complex biological systems, v: *Evolution at Crossroads*, Bradford Book, Cambridge, 209-225.
251. Szathmary E, Demeter L, 1987, Grup selection of early replicators and the origin of life, *J.Theor.Biol.*, 128:463-86.
252. Štern A, 1990, Prenatalna diagnostika cistične fibroze z metodo rekombinantne DNK, *Veterinarske novice*, 16 (12): 343-4.
253. Štern A, 1992, *Dolina lepotic*, Mihelač, Ljubljana.
254. Štern A, 1994, *Pesmi, Apokalipsa 1-2*: 84-90.
255. Štern A, 1996, *Altruizem*, Znanstveno in publicistično središče, Ljubljana.
256. Tejedor AG, Moran F, Montero F, 1987, Influence of the hypercyclic organization on the error threshold, *J.Theor.Biol.*, 127: 393-402.
257. Thaler DS, 1994, The evolution of genetic intelligence, *Science*, 264: 224-58.
258. Trivers RL, 1971, The evolution of reciprocal altruism, *Quarterly Review of Biology*, 46: 35-57.
259. Ule A, 1992, *Sodobne teorije znanosti*, Znanstveno in publicistično središče, Ljubljana.
260. Vaughan G, Przybylski AT, Fox SW, 1987, Thermal proteinoids as excitability-inducing materials, *Biosystems*, 20: 219-23.
261. Vines G, 1982, Molecular drive: a third force in evolution, *New Scientist*, 96(1335): 664-5.
262. Vitiello G, 1992, Coherence and electromagnetic fields in living matter, *Nanobiology*, 1 (2): 221-8.
263. Vodovnik L, 1975, *Osnove biokobernetike*, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
264. Von Neumann J, Morgenstern O, 1944, *The theory of games and economic behaviour*, Princeton University Press, Princeton.
265. Vorlaender K, 1968, *Zgodovina filozofije*, Slovenska matica, Ljubljana.
266. Webster G, 1984, The relations of natural forms, v: *Beyond NeoDarwinism*, Academic Press, London, 193-217.
267. West Eberhard MJ, 1975, The evolution of social behavior by kin selection, *Quarterly Review of Biology*, 50: 1-33.
268. Westerhoff HV & sod., 1986, How enzymes can capture and transmit free energy from an oscillating electric field, *Proc.Natl.Acad.Sci.*, 83: 4734-8.

269. Williams GC, 1966, *Adaptation and natural selection*, Princeton University Press, Princeton.
270. Wilson DS, 1980, *The natural selection of populations and communities*, Benjamin Cummings, Menlo Park, California.
271. Wilson DS, Sober E, 1989, Reviving the superorganism, *J.Theor.Biol.*, 136: 337-56.
272. Wilson DS, Dugatkin LA, 1992, Altruism: contemporary debates, v: *Keywords in evolutionary biology* (ur.: Keller EF, Lloyd EA), Harvard University Press, Cambridge, 31.
273. Wilson EO, 1975, *Sociobiology: the new synthesis*, Harvard university press, Cambridge.
274. Wright S, 1921, Systems of mating, *Genetics*, 6: 111-78.
275. Wu TM, 1994, Fröhlich's theory and coherent excitations, v: *Bioelectrodynamics and biocommunication* (ur.: Ho MW, Popp FA, Warnke U), World Scientific, Singapore, 387-409.
276. Wuketits FM, 1990, *Evolutionary epistemology and its implications for humankind*, State of New York Press, Albany.
277. Wuketits FM, 1993, Moral systems as evolutionary systems: taking evolutionary ethics seriously, *Journal of Social and Evolutionary Systems*, 16 (3): 251-71.
278. Yakushevich LV, 1992, Non-linear DNA dynamics and problem of gene regulation, *Nanobiology*, 1(3): 343-50.
279. Yanagawa H, Egami F, 1980, Formation of organized particles, marigranules and marisomes, from amino acids in a modified sea medium, *BioSystems*, 12: 147-54.
280. Yanagawa H, Ogawa Y, 1984, Formation and characterization of marigranules from tryptophan and sugars, *Origins of Life*, 14: 359-364.
281. Župančič A, 1993, *Etika realnega*, Društvo za teoretsko psihoanalizo, Ljubljana.
282. Žižek S, 1984, *Filozofija skoz psihoanalizo*, Društvo za teoretsko psihoanalizo, Ljubljana.
283. Župančič AO, 1986, On ghosts rising from their graves, *Iugoslav.Physiol.Pharmacol.Acta*, 22: 275-9.