

# Kvantna teorija polja, možgani in zavest

Metod Škarja

*Inštitut Bion*

*Stegne 21, SI-1000 Ljubljana*

*e-mail: metod.skarja@bion.si*

## Povzetek

Kvantna teorija polja omogoča nov, bolj fundamentalen pogled na organizacijo žive snovi in s tem tudi možganov. Za razliko od generiranja prostorskega in časovnega reda preko statističnih mehanizmov, značilnih za večino drugih modelov, je red, ki izhaja iz kvantne teorije polja, emergenten red dinamične narave na osnovi kvantnih interakcij. Zanj so značilni kolektivni nihajni načini s pripadajočimi kvanti. Le-ti se pojavijo kot posledica spontanega zloma simetrije v sistemu in so nosilci urejenosti dolgega dosega. Princip, ki velja za neživo materijo, velja splošno tudi za živo materijo in možgane, le da so procesi v slednjih dveh primerih veliko bolj kompleksni. Razlika med neživo, ostalo živo materijo in možgani je v naraščajoči stopnji odzivnosti na vse stimulse, tako glede razločljivosti kot senzitivnosti.

## Uvod

Razlaga procesov v živi materiji in možganih se je začela po dveh vzporednih linijah. Najprej je znan fizik na področju kondenzirane materije Herbert Fröhlich postal pozoren na izredne dielektrične lastnosti celičnih membran. Pri potencialni razliki preko membrane ca 100mV in njeni debelini okoli  $10^{-6}$ cm ta razlika namreč pomeni zelo močno električno polje reda velikosti  $10^5$ V/cm. Tako polje v običajnih materialih povzroči preboj. Glede na samo sestavo membran ga je to navedlo na idejo, da bi lahko bili v živi materiji koherentno vzbujeni določeni longitudinalni električni nihajni načini (Fröhlich 1968), stabilizirani z deformacijami, ki bi bile posledica nelinearnih efektov. K takemu sklepanju je napeljeval tudi opaženi red dolgega dosega v teh sistemih, ki ne izhaja iz molekularne dinamike kratkega dosega, je relativno stabilen, a hkrati daleč stran od termičnega ravnotežja. V omenjenem članku je pokazal, kako se v zelo splošnih pogojih energija, ki se dovaja neselektivno množici nihajnih načinov, nad določenim pragom kanalizira v en sam nihajni način, ki na ta način postane močno vzbujen. Proces zelo spominja na znano bozonsko kondenzacijo (Fröhlich 1975, Austin in Wu 1978; znan primer bozonske kondenzacije je npr. prehod v supertekoče stanje helija). Tako vzbujeni nihajni način lahko privede

do selektivnih interakcij dolgega dosega med različnimi makromolekulami (Fröhlich 1972). Približno v istem času je teoretični razvoj v okviru kvantne teorije polja (KTP) pokazal, da so za pojav urejenosti pri npr. superprevodnost, supertekočnosti, feromagnetizmu ipd odgovorne korelacije dolgega dosega, ki se dinamično generirajo zaradi spontanega zloma simetrije. To privede do novega stabilnega urejenega osnovnega stanja (Anderson 1984, Umezawa, Matsumoto in Tachiki 1982). Vsebinsko to opiše Goldstonov teorem, ki pravi, da se pri zlomu (zmanjšanju) simetrije sistema v njem pojavijo brezmasni bozonski delci oz. nihajni načini, ki so v bistvu dinamični odziv sistema na ta zlom (Itzykson in Zuber 1980). Ti delci vzpostavljajo red dolgega dosega v sistemu (kot znan primer navedimo, da so v primeru kristala to fononi; le-ti se pojavijo kot posledica zloma zvezne translacijske simetrije). Navzven se to vidi kot makroskopska urejenost, ki pa temelji na notranji kvantni dinamiki (dejansko lahko govorimo o netrivialnih makroskopskih kvantnih sistemih). Za vsak tak sistem je značilen od nič različen parameter urejenosti (odvisno od sistema je to lahko magnetizacija, polarizacija itd). Da so to v resnici makroskopski kvantni sistemi, utemeljimo s tem, da ne obstaja noben klasičen model, niti na osnovi nelinearne dinamike (ki sicer pogosto generira zelo bogato in kompleksno dinamiko), ki bi lahko reproduciral ta proces. Poleg tega v klasičnih sistemih urejena stanja ne morejo imeti iste energije kot neurejena; prehod k urejenosti namreč zahteva vložek energije. Pomembna lastnost tega procesa je tudi to, da ne obstaja le eno, ampak neskončno mnogo osnovnih stanj, ki imajo vsi enako energijo, razlikujejo pa se po vrednosti parametra urejenosti. Ker so nosilci urejenosti bozoni, se jih lahko namreč poljubno mnogo kondenzira v ta osnovna stanja. V idealnem primeru neskončnega sistema so ti delci brezmasni, v praksi pa navadno imajo določeno maso, zato se osnovna stanja lahko nekoliko razlikujejo po energiji, posledica pa je tudi končen življenjski čas. Zaradi medsebojne fazne povezanosti teh bozonov lahko govorimo o koherenci v sistemu.

## Kvantna teorija polja in živa materija

Skladno s temi spoznanji je Fröhlich kot delovno hipotezo predlagal, da fazne korelacije oziroma koherenca igrajo ključno vlogo pri organizaciji žive materije in njenih aktivnostih (Fröhlich 1988).

Aplikacijo KTP na živo materijo je naprej razvijala skupina italijanskih znanstvenikov (Del Giudice, Doglia, Milani in Vitiello 1985, 1986a, Del Giudice in sod. 1988; za široko utemeljitev kvantne koherence v materiji glej Del Giudice in Preparata 1991, Preparata 1995). Ker je večina molekul, ki nastopajo v živi snovi, polarnih, začeni s vodo, so kot osnovne predlagali dipolne interakcije med le-timi. V pogojih zloma v tem primeru rotacijske simetrije se v vodi oz. ustreznem mediju pojavijo dipolni polarizacijski valovi (za samo vodo glej Del Giudice in sod. 1986b). Ti so nosilci korelacij dolgega dosega. Ker imajo različne biomolekule specifičen vpliv na ta proces, so zato v takem mediju možne selektivne interakcije dolgega dosega med njimi. V tako koreliranem mediju pride tudi do spremenjenega razširjanja elektromagnetnega (EM) polja, in sicer polje do določenega praga niti ne more prodreti v medij, nad določenim pragom pa prodira v medij v obliki filamentov (proces je v osnovi povsem analogen znanemu filamentoznemu prodiranju magnetnega polja v superprevodnik). V področju filamentov je prvotno korelirano stanje medija porušeno (Anderson 1984, Umezawa 1982, Del Giudice in sod. 1985). Obravnava filamentov je pomembna, ker močan gradient polja na njihovi površini lahko selektivno pritegne različne molekule. Ocena premera filameta v popolnoma koreliranem vodnem mediju da vrednost 15nm (Del Giudice in sod. 1986a), kar je zelo blizu notranjemu premeru mikrotubulov, ki tvorijo t.i. citoskeleton v celicah. To kaže na možen izvor tega citoskeletona, ki je sicer ključen za celični metabolizem in je zelo dinamična struktura in ki s svojimi lastnostmi predstavlja pravo uganko za biokemijo. Velja še omeniti, da je urejeno stanje medija do določenega praga zaščiteno pred termalizacijo; ta se zgodi nad določeno temperaturo, ko urejeno stanje sistema izgine.

### **Kvantna teorija možganov**

V času razvoja novih spoznanj glede spontanega zloma simetrije in pojava dolgega reda v okviru KTP so le-ta navdihnili tudi prvi kvantni model možganov (Ricciardi in Umezawa 1967, za celoten pregled te problematike glej Vitiello 1995). Osnovni elementi iz KTP, uporabljeni v tem modelu, so koherentna bozonska kondenzacija v nova urejena osnovna stanja, neskončno število teh unitarno neekvivalentnih osnovnih stanj in vloga korelacij dolgega dosega pri pojavu makroskopsko opazljivih urejenih vzorcev. Eksperimentalne raziskave kažejo, da se kot odziv na dražljaj pojavi aktivnost v možganih skoraj hkrati na več mestih in da tega ne moremo pripisati aktivnosti enega nevrona (Pribram 1971, 1991). Pomnjenje in priklic se kažeta kot difuzna, nelokalna aktivnost, ki se ne izgubi, tudi če deli sistema slabše oziroma ne funkcionirajo. Model na osnovi KTP je zato primeren za opis take vrste aktivnosti. Po tem

modelu zunanji vpliv povzroči, da možgani (oziroma del njih) kot odziv nanj preidejo v drugo osnovno stanje. Ker je to osnovno stanje, je obenem stabilno, kar lahko razloži stabilnost spomina (kratkoradni spomin pa lahko razlagamo z vzbujenimi stanji, ki čez določen čas razpadejo). Analogen mehanizem razloži tudi priklic iz spomina. Ko so možgani izpostavljeni določenemu vzorcu, to v njih vzbudi določeno aktivnost, ki zaresonira z nekoč v preteklosti shranjenim vzorcem. Na osnovi ustreznega osnovnega stanja (ki se ga zavestno ne zavedamo) možgani preidejo v vzbujeno stanje, ki se ga zavemo. Možgani dejansko delujejo na dveh nivojih, ena je klasična, elektrokemična, na tej se zgodi tudi prvi odziv na prihajajoči stimulus, druga je kvantno dinamska (Stuart, Takahashi in Umezawa 1978, 1979). Zaradi svoje robustnosti je red dolgega dosega zaščiten pred ves čas spremenljivo elektrokemično aktivnostjo možganov, po drugi strani pa mora biti sklopljen z njo, saj mora biti odziven na zunanje dražljaje, oziroma mora biti sposoben določene notranje procese odreflektirati na elektrokemični ravni (kot analogijo lahko navedemo interakcijo klasičnih akustičnih valov s fononi v kristalu). Ravno značilnost urejenega stanja, da ima makroskopsko značilno konfiguracijo, omogoča to interakcijo. Makroskopska urejenost se pokaže navzven kot opazljive klasične lastnosti, ki pa so utemeljene na kvantni dinamiki. Klasični elektrokemijski nivo igra torej vlogo prenosnika med zunanjimi vplivi in možgani.

Kot nosilci reda dolgega dosega so tudi v tem primeru predlagani Fröhlichovi električni dipolni nihajni načini (Jibu in Yasue (1992). Kot omrežje za prenos najverjetneje služi citoskelska mreža, ki povezuje med seboj vse dele možganov, saj jo najdemo tako v celičnem kot v medceličnem prostoru. Ne konča se na mejah celic, ampak se povezuje z zunanostjo preko transmembranskih proteinov. Dejansko zadnje raziskave kažejo na veliko vlogo mikrotubulov v zaznavnem procesu. Tudi pri raznih degenerativnih možganskih boleznih so opazili močno spremenjen citoskeleton v prizadetem delu. Citoskelska mreža se nahaja v vodnem okolju, sestavljena pa je iz polarnih monomerov. Zato spremembe v njej (signali, ki potujejo po njej) vplivajo na okoliške vodne molekule, kar lahko sproži proces bozonske kondenzacije v tem mediju in pojav koherentnih dipolnih polarizacijskih (KDP) valov. Ti KDP valovi lahko sedaj posredujejo interakcijo med različnimi deli citoskeletona in njegovimi ekscitacijami.

### **Možgani kot odprt sistem**

Možgani so dejansko odprt sistem, ki z okolico ves čas izmenjujejo dražljaje, energijo in snov (ta izmenjava vključno z dražljaji poteka predvsem

preko ostalega telesa). Če možgane obravnavamo okviru KTP na ta način, pridemo do nekaterih zanimivih ugotovitev. Tak skupen sistem možgani/okolica ima lastna stanja, ki so v bistvu podvojena lastna stanja samih možganov (Vitiello 1995; kako pride do podvojitve osnovnih stanj v šibko sklopljenem dvojnem sistemu –dvojnem resonatorju- je nazorno prikazano v Škarja, Mankoč-Borštnik, Löffler in Walther 1999). Ta podvojitve ima za posledico možnost neskončne superpozicije stanj, v katerem je lahko vsako posamezno osnovno stanje. To pa omogoča veliko spominsko kapaciteto in različna spominska stanja, ki lahko sedaj obstajajo neodvisno eden od drugega (brez tega je nov vtis možgane premaknil v novo osnovno stanje in staro je bilo prekrito, možna je bila le sekvenčna rekolekcija v obratnem vrstnem redu- ena od pomanjkljivosti prvotnega modela).

### Možgani in zavest

Pojav zavesti je vprašanje, ki tudi znotraj KTP ne najde dokončnega odgovora. Glede na strukturo mikrotubulov je Hameroff (1987) predlagal, da na njih lahko poteka informacijsko procesiranje. V svojem modelu je predlagal, da je zavest povezana s t.i. redukcijo valovne funkcije, oziroma da lahko nastane v tem procesu. Za kvantno mehaniko je namreč značilno, da sistema, ki je v kvantni superpoziciji stanj, kot takega ne moremo opazovati. Akt opazovanja (oziroma merjenja) namreč povzroči, da se sistem znajde v enem od možnih stanj z določeno verjetnostjo. V Hameroffovem modelu to dejanje »merjenja« izvaja gravitacija, ki reducira superpozicije stanj znotraj mikrotubulov v posamezna stanja, ki pa se jih šele lahko zavemo.

Po drugi strni so opazili, da zunanji dražljaj najprej povzroči vznurjenost neke majhne skupine nevronov, a na tej stopnji se dražljaja še ne zavedamo. Šele ko se vznurjenost razširi na večje področje, pride do zavestne zaznave (Greenfield 1997).

Vitiello (1995, 2001) na osnovi modela možganov kot odprtega sistema ugotavlja, da drugi (zrcalni) del podvojenega lastnega sistema (glej zgoraj) deluje kot časovno zrcalo oziroma kot refleksija v času, to pomeni refleksijo dogajanja znotraj sebe. Na tej točki naj bi se pojavila tudi zavest. Izvor zavesti naj bi bil torej v disipativni (t.j. povezani z okoljem) kvantni dinamiki možganov.

Celoten model KTP z vsemi dejstvi pa močno kaže tudi na možnost, da KTP raven s svojo vpetostjo in tudi emergenco na osnovi fizične strukture možganov na eni in svojim bogastvom različnih stanj in zmožnostjo procesiranja in prilagajanja na drugi strani predstavlja dejanski povezovalni element med zavestjo in možgani. Hkrati pa kaže na to, da je zavest na določeni ravni tudi emergentna, brez ustrezne aktivnosti v tem primeru na

elektrokemijski ravni tudi klasičnega zavedanja v možganih ni.

### Literatura

- Anderson, P.W., *Basic notions of condensed matter physics*. Menlo Park: Benjamin, **1984**
- Austin, S., Wu, T.M., Bose-Condensation in Biological Systems, *J. theor. Biol.* **1978**, 71, 209-214.
- Del Giudice E, Doglia S, Milani M, Vitiello G: A quantum field theoretical approach to the collective behaviour of biological systems, *Nuclear Physics*, **1985**, B251(FS13), 375-400
- Del Giudice, E., Doglia, S., Milani, M., Vitiello, G. Electromagnetic field and spontaneous symmetry breakdown in biological matter. *Nucl. Phys.*, **1986a**, B275 (FS 17), 185-199.
- Del Giudice, E., Preparata, G., et al., Water as a Free Electric Dipole Laser, *Phys. Rev. Lett.*, **1986b**, 61, pp. 1085-1088.
- Del Giudice, E., Doglia, S. et al., Structures, Correlations and Electromagnetic Interactions in Living Matter: Theory And Applications, In Fröhlich, H., eds. *Biological Coherence and Response to External Stimuli*, Berlin, H. Springer Verlag, **1988**, pp.49-84.
- Del Giudice, E., Preparata, G., A New QED Picture of water: Understanding a Few Fascinating Phenomenon, In Sassaroli, E., Srivastava, Y., et al., eds, *Macroscopic Quantum Coherence*, Singapore, London, New York, World Scientific, **1998**, pp. 108-129
- Fröhlich, H., Long-range Coherence and Energy Storage in Biological Systems, *Int. J. Quantum. Chem.*, **1968**, 2(5), 641-649
- Fröhlich, H., Selective Long Range Dispersion Forces between Large Systems, *Phys. Lett.*, **1972**, 39A(2), 153-154
- Fröhlich, H., Evidence for Bose Condensation-like Excitation of Coherent Modes in Biological Systems, *Phys. Lett.*, **1975**, 51A(1), 21-22
- Fröhlich H: Theoretical Physics and Biology In: Fröhlich H (ed.), *Biological Coherence and Response to External Stimuli*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, **1988**
- Hameroff, S.R., *Ultimate Computing: Biomolecular consciousness and nanotechnology*. Amsterdam: Elsevier North Holland, **1987**

- Greenfield, S.A., How might the brain generate consciousness?, *Communication and Cognition*, **1997**, 30, 285-300
- Itzykson, C., Zuber, Quantum Field Theory, New York: McGraw-Hill, **1980**
- Jibu, M., Yasue, K. A physical picture of Umezawa's quantum brain dynamics. In R. Trappl ed., *Cybernetics and System Research*, Singapore, World Scientific, **1992**, p.797-804.
- Preparata, G., *QED Coherence in Matter*, Singapore, London, New York, World Scientific, **1995**
- Pribram, K.H. *Languages of the brain*, Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, **1971**
- Pribram, K.H. *Brain and perception*, Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum, **1991**
- Ricciardi, L. M., Umezawa, H. Brain and physics of many-body problems, *Kybernetik*, **1967**, 4, 44-48. Reprint in Globus, G. G., Pribram, K. H., Vitiello, G. eds. *Brain and Being*, Amsterdam, John Benjamins, **2005**, pp. 255-266.
- Umezawa, H., Matsumoto H. in Tachiki M., 1982, *Thermo Field Dynamics and Condensed States*. Amsterdam: North-Holland, **1982**
- Stuart, C.I.J., Y. Takahashi in H. Umezawa. On the stability and non-local properties of memory, *J. Theor. Biol.*, **1978**, 71, 605-618.
- Stuart, C.I.J., Y. Takahashi in H. Umezawa. Mixed system brain dynamics: neural memory as a macroscopic ordered state, *Found. Phys.*, **1979**, 9, 301-327.
- Škarja M., N. Mankoč Borštnik, M. Löffler in H. Walther, Quantum interference and atom-atom entanglement in a two-mode, two-cavity micromaser. **1999**, *Phys. Rev. A* 60, 3229-3232.
- Vitiello, G. Dissipation and memory capacity in the quantum brain model, *Int. J. Mod. Phys.*, **1995**, B9, 973-989.
- Vitiello, G. *My Double Unveiled*. Amsterdam, John Benjamins, **2001**.