

Pogovor z dr. Basilom J. Hileyjem



O Bohmovi ontološki interpretaciji kvantne fizike in navezavi na vprašanje duševnih procesov

Pogovarjal se je Mitja Peruš

Dr. Hiley je bil rojen v Burmi. Otroštvo je preživel v Indiji, kjer je njegov oče služboval v britanski kolonialni vojski. Doktoriral je s področja fizike spinskih sistemov. Ukvarja se predvsem z osnovami kvantne fizike in s fiziko trdne snovi ter polimeri. Predava splošno teorijo relativnosti na londonskem Birkbeck Collegeu.

Prof. Davida Bohma, svojega dolgoletnega sodelavca in znanega kvantnega fizika ter misleca, je spoznal na nekem znanstveno-filozofskem kolokviju. To ga je motiviralo, da se je potrudil dobiti službo na Birkbeck Collegeu in tako postati Bohmov kolega.

Njuno sodelovanje je bilo odtelej zaznamovano s številnimi diskusijami o poglobljanju konceptualnih izhodišč kvantne teorije in o njenem podtemeljevanju, vključno z navezavo na duševne procese.

Postavila sta *Bohm-Hileyjevo ontološko interpretacijo kvantne fizike*.

Dr. Hiley je z Bohmom soavtor knjige *Nedeljeni univerzum; ontološka interpretacija kvantne teorije*, katere pregled je podan tudi v tej številki Časopisa za kritiko znanosti. Z D. Peatom je uredil knjigo *Kvantne implikacije; eseji v počastitev Davida Bohma*. Je tudi avtor številnih strokovnih člankov. Sicer je vnet predavatelj in odprt za ideje z drugih področij, denimo filozofskih, kar je pri naravoslovnih znanstvenikih žal redka vrlina.

Pogovor je nastal ob gostovanju dr. Haileya na mednarodnem simpoziju avgusta 1994 v Mariboru. Pred zapisom pogovora še nekaj opozoril.

Ko Hiley govori v prvi osebi množine, misli sebe in Davida Bohma ter (morebiti tudi) druge zgovornike ontološke interpretacije.

V besedilu se pogosto pojavljajo strokovni izrazi "lastno stanje", sinonim "lastni vektor" ali kvantna inačica "lastna valovna funkcija" ter izraz "kolaps valovne funkcije". Lastno stanje je posebno fizikalno stanje, ki karakterizira sistem. Navadno je bolj stabilno in igra odločilnejšo vlogo v sistemu. Valovna funkcija (ψ) v kvantni mehaniki (KM) opisuje kvantni sistem. "Kolaps valovne funkcije" je

prehod iz kvantnega stanja, ki je superpozicija (nekakšna "mešanica" ali matematično linearna kombinacija) lastnih valovnih funkcij, v čisto kvantno stanje, ki je opisano z eno samo lastno funkcijo. To pretvorbo sprožimo, ko delamo meritev na kvantnem sistemu in ga s tem neizbežno zmotimo ter predružačimo. V bistvu eksperimentator sodoča o tem, v katero lastno valovno funkcijo bo "kolapsiralo" stanje sistema, in s tem tudi sodoča rezultat merjenja. Odprta vprašanja globljega pomena "kolapsa" ali "redukcije valovne funkcije" so obravnavana v intervjuju. Drugi strokovni izrazi so sproti opisani v oštevilčenih opombah.

1 Kvantna mehanika (KM) ima napovedno moč in ni v nasprotju s poskusi, vendar obstaja veliko težav z njenimi osnovami. Kako vidite to stanje?

Basil J. Hiley: KM omogoča izračun pravih verjetnosti za dano eksperimentalno situacijo, vendar mislim, da potrebujemo od znanosti več kot le napovedi. Na tem področju so težave s KM. Nisem edini, ki to verjame. Murray-Gell Mann je rekel, da vsi vemo, kako računati, kako uporabljati KM, vendar nihče med nami v resnici ne razume, kaj tiči za kvantnim formalizmom, kaj nam pravi o naravi.

Na to pa je treba na neki način odgovoriti.

2 V zadnjih letih je prišlo do oživitve idej profesorja Bohma in vas, kajne? Primeri so Hollandova knjiga in mnoge druge, vaša knjiga Nedeljeni univerzum, mnogi članki, npr. v New Scientistu (27. feb. 1993), Scientific Americanu (maj 1994) idr. Kje so vzroki za to?

B. J. H.: Najprej, mislim, da so k temu prispevala kolektivna dela, narejena na osnovi te alternativne interpretacije KM, ki se imenuje de Broglie-Bohmova interpretacija, ali kot bi jo jaz imenoval, ontološka interpretacija. Obstaja velika nelagodnost zaradi kvantne fizike v splošnem. Nekateri poskusi dosegajo raven, ko lahko opazujemo vedenje posameznih kvantov ali posameznih delcev ipd. Drugič, narejeno je bilo temeljito preverjanje Bellove neenačbe¹ in izvedeni so bili mnogi poskusi, ki so izhajali iz tega. Ti so pokazali, da ima KM nekatere nelokalne značilnosti. To je vzbudilo veliko zanimanja. Imamo tudi krizo pri poskusih, da bi kvantizirali gravitacijo. Tukaj je nekaj fundamentalnih problemov in tako smo bolj ali manj prisiljeni priznati, da ne razumemo KM povsem. Morebiti je KM omejena in zato ne moremo združiti gravitacije s KM. V splošni

teoriji relativnosti imamo npr. težko razložljivo vprašanje časa. Torej moramo znova predelati osnove. Mislim, da so knjige Petra Hollanda ter Davida Bohma in mene predlagale alternativo, ki morda kaže novo pot naprej.

3 Elektron zapada zveznim transformacijam med svojo valovno in delčno naravo. Kako vi razlagate to dvojnost, poslužujoč se svojih pojmov implikatnega in eksplikatnega reda?

B. J. H.: Koncept zveznih transformacij med valovno in delčno naravo dojemam kot zelo zmedeno. Nihče pravzaprav ne opazuje valovnih lastnosti. Kar opazujemo, so statistične porazdelitve posameznih kvantnih dogodkov. Ko jih nekdo analizira, je videti, kot da bi jih lahko razložili z valovnimi značilnostmi. Vendar pravzaprav nikoli nismo videli valovne narave kvantnega. Rezultati poskusov so diskretni dogodki, ki jih lahko razložimo, če predpostavimo valovno kakovost. Zvezni prehod med valovi in delcem postane zabrisan in ni jasen, gladek.

De Broglie-Bohmova interpretacija je edina interpretacija KM, ki prinaša ontologijo. Če pogledamo stališča Nielsa Bohra in posebej ljudi, ki so analizirali Bohra, dobimo vtis, da nam je Bohr dal najbolj konsistentno interpretacijo KM, vendar je epistemološka interpretacija. Ta izhaja, kot se zatrjuje, iz problema ločitve opazovanega od opazovalnega aparata. John Wheeler mi je pisal, da ontološka interpretacija KM ni možna, vendar smo mi pokazali, da je možna. Zdi se, da je treba tukaj preiti od mehanicizma k neki vrsti organizma ali organicizma. V tem kontekstu lahko še naprej obdržite delce z valovi, ki delujejo na delce. Val ima zdaj novo kvaliteto; je kot informacijsko polje. Vendar je v teoriji relativnosti tudi to stališče težko zagovarjati. Nismo prepričani, ali obstaja stalna struktura elektronov in ali vedno sledijo zveznim traektorijam

(gibalnim potem). Morda je vpleteno kaj globljega. Pristop z valovno funkcijo je bil obdrzan, ker je bil sposoben priskrbeti *nekakšno* ontologijo, vendar individualnosti ne bi bilo mogoče vključiti v kartezijansko kategorijo. V tem je protislovje. Zato sva David Bohm in jaz postavila vprašanje alternativnih kategorij za KM. V tem kontekstu je Bohm imel idejo implikatnega in eksplikatnega reda. Potlej delec pojmuje kot serijo razvijanj (*unfoldements*, op. prev.) iz globlje strukture, ki jo imenujemo hologibanje (*holomovement*, op. prev.).

4 Po vaši interpretaciji ima delec hkrati dobro definirano pozicijo in gibalno količino, ki pa sta nam nedoločljivi. V kakšnem smislu bi lahko ta trditev bila negacija Heisenbergovega načela nedoločenosti?

B. J. H.: Nekateri gotovo razumejo to trditev kot zanikanje načela nedoločenosti. In se zelo sprašujejo ob tem. V nerelativistični fiziki predpostavljamo obstoj delcev in da imajo pozicije in gibalne količine, ki pa so nam neznane. Da bi določili njihove pozicije in gibalne količine, moramo postaviti na prežo dele merilnega aparata. Imamo curek vstopajočih delcev in moramo določiti pozicijo enega. En način, da to izvedemo, je, da postavimo steno z režo (luknjico) pred curek. Potem pride do nenadzorljivega prenosa gibalne količine med režo in delcem, ki prileti skozi režo, tako da gibalna količina pred meritvijo ni enaka gibalni količini po meritvi. Zares moramo sodelovati pri procesu merjenja in neizbežno preoblikujemo proces, ki ga preiskujemo. Mi in naše merilne naprave igrajo dejavno vlogo v kvantnih procesih. Skozi to dejstvo prihaja načelo nedoločenosti nazaj v ontološko interpretacijo. Torej, ne gre za negacijo načela nedoločenosti, temveč za razlago, kako do načela nedoločenosti pride.

4b Moramo torej ločevati epistemološki vidik načela nedoločenosti in njegov ontološki vidik?

B. J. H.: Da. Sam pravzaprav gledam na to na dveh ravneh: Imamo raven dejanskih entitet. John Bell jih je imenoval "beables" (dobesedni prevod bi bil nekako: "bitki" ali "bitnosti", op. prev.). Te tvorijo raven, na kateri rečemo, da so stvari takšne, kot dejansko SO. Potem imamo drugo raven, ki jo imenujemo raven opaz-

ljivk – epistemološka raven. Nižja tej ravni je ontološka raven. Torej ne trdimo, da je običajna interpretacija KM napačna. Običajna interpretacija KM je omejena na raven opazljivk (nekih opazovanih količin) in dodaja, da ni ničesar nižje od njih. Mi pa pravimo, da lahko razložimo pojave z globljo nižjeležečo ontologijo. (Lahko bi rekli realnostjo, vendar je treba biti zelo pazljiv pri uporabi te besede!)

5 Kaj so tako imenovane "skrite spremenljivke" in kakšno vlogo imajo? Bi podali primere? Med našo diskusijo v Londonu ste dejali, da ne marate pojma "skrite spremenljivke". Kakšen drug pojem predlagate?

B. J. H.: Res se počutim zelo nelagodno ob pojmu "skrite spremenljivke", iz dveh razlogov. Prvič, pojem je skoval, mislim, von Neumann v svoji knjigi *Matematične osnove kvantne mehanike*. Zgradil je dokaz, ki pravi, da če bi obstajali dodatni parametri (če bi bila nižjeležeča ontologija), tedaj KM ne bi bilo mogoče izpeljati z njihovo pomočjo. Ne bi dobili ujemanja s poskusi, če bi vpeljali te parametre. Postali so znani kot "skrite spremenljivke" in ta pojem je samodejno povezan z von Neumannovim izrekom. Danes vemo, da je von Neumannov izrek napačen; ne zato, ker je karkoli v dokazu napačno, temveč zaradi predpostavk, ki jih je postavil. Govoril je le o zelo omejeni vrsti dodatnih parametrov. Drugič, v ontološki interpretaciji ni nobenih dodatnih parametrov, imamo le pozicijo in gibalno količino. Zato, če uporabljamo pojem "skrite spremenljivke", bi kdo mislil, da obstaja neka dodatna struktura, ki jo je treba upoštevati. Pa je ni. Vzrok, zakaj jih je David Bohm v svojem članku imenoval "skrite", je v tem, da so skrite v smislu hkratne nedoločljivosti pozicije in gibalne količine za nas. Namreč, ne moremo jih opazovati skupaj.

Da bi jih opazovali, moramo spremeniti stanje, sodelovati.

Raje uporabljam bolj nevtrarno besedo "beables" ("bitnosti"), ki jo je skoval John S. Bell. Tukaj imamo nov položaj. Prihaja od ontologije, ki deluje. Ne dodaja nobenih novih parametrov. Torej, če le imenujemo pozicijo, gibalno količino, vrtilno količino "bitnosti", tedaj ne potrebujemo nobenih eksotičnih novih vrst parametrov.

5b *Ali bi potemtakem razložili, kaj so "bitnosti" ("beables")?*

B. J. H.: "Bitnosti" so zgolj tiste lastnosti, ki jih delec dejansko ima neodvisno od naših meritev.

5c *Torej, vključno s pozicijo in gibalno količino, vendar brez opazovalca. To bi bila intrinzična (prava, dejanska, apriorna) gibalna količina?*

B. J. H.: Da, nekaj intrinzičnega v delcu, ki lahko ima te lastnosti – to je "bitje" (*being*, op. prev.). Od tod prihaja beseda – iz "biti" (*to be*, op. prev.). To je, kar je. Kar vidimo, so pojavi, in razložiti moramo te pojave na osnovi tega, kar *je*. Zato se intrinzične lastnosti, ki jih pripisujemo delcem, imenujejo "bitnosti".

5d *Torej so bitnosti neke značilnosti na tej ontološki ravni, ne epistemološki.*

B. J. H.: Da, točno. To so spremenljivke, ki jih potrebujemo, da naredimo ontologijo kot koherentno celoto.

5e *Ali se pripisujejo delcem ali poljem?*

B. J. H.: Obojim.

6 *Pravite, da so "skrite spremenljivke" ali recimo raje "bitnosti" nelokalne? Kaj to pomeni?*

B. J. H.: Vzemimo preprost primer, ko imamo dva delca. Tedaj imamo za bitnosti poziciji in gibalni količini obeh delcev. To so parametri, povezani z lokalnim delcem. Vendar ni mogoče razložiti rezultatov poskusov brez vpeljave zveze ali neke vrste interakcije med dvema delcema. Če je KM strogo pravilna, potem je ta zveza *takojšna*. V ontološki interpretaciji gre na tej ravni za takojšno zvezo na daljavo. To je nelokalna narava. Torej ne gre za to, da so parametri nelokalni. Gre za sklopitev² med njimi. Ta je takojšna in zato nelokalna. Torej imamo nelokalne *teorije* "skritih spremenljivk".

6b *Pri tem mi ni jasno naslednje: Pravite, da so "skrite spremenljivke" brez interakcijskih*

zakasnitev nelokalno povezane. To zveni, da so same lahko tudi lokalne.

B. J. H.: Da, to je zelo zanimivo vprašanje. V Bohmovi ontološki interpretaciji vzamemo predpostavko, da so delci središča aktivnosti v hologibanju in da so ta središča aktivnosti na različnih pozicijah v prostoru.

V ontološki interpretaciji imamo delec in valovanje. Valovanje ni nekaj, kar bi bilo neodvisno od delca. To sta le dva vidika istega procesa. Torej imate prav, ko sprašujete, ali ju je res mogoče ločevati. Vzrok, zakaj gremo k implikatnemu redu³, je v tem, da gledano strogo na ontološki ravni ne moreta biti ločena, na višji ravni pa ju lahko vidimo ločeno. Torej, kot da sta skupaj, pa vendar nekako prostorsko ločena. Zelo težko je najti besede, ki bi to opisale na tem nivoju, razen če gremo globlje v implikatni red. Morda so kategorije, ki jih še vedno uporabljamo, neustrezne...

7 *Dejali ste tudi, da nimate radi pojma "subkvantni medij". Razumem, da je delitev na nižje in višje ravni umetna, vendar potrebujemo neke koncepte zavoljo analize. Kako bi vi rešili to težavo?*

B. J. H.: "Subkvantni medij" je bil način govora Louisa de Broglia in Jeana-Pierra Vigierra (ta misli, da je ta medij dejansko realnost). Tukaj se spominjam zgodnjih razprav o vlogi etra pri elektromagnetnih pojavih⁴. Sklep je bil, da ne potrebujemo etra – vakuum zadoštuje. Dejansko je Einstein rekel, da nismo nameravali razložiti etra z mehanskimi lastnostmi snovi. Sedaj pa ljudje, pozablajoč Einsteinove opombe, želijo vpeljati *mehanistični* subkvantni medij; radi bi obdržali kartezijske kategorije, kar pa je napačna smer.

V kvantni teoriji polja imamo koncept vakuuma. Navadno bi ljudje dejali: Vakuum pomeni, da ni ničesar tam. Potem pa najdete pojme kot "neistovetna vakuumska stanja", vakuum fluktuirati itd. Kaj pomeni imeti neistovetni nič? Ali je nič ali pa je nekaj. Tako pride ideja, da vakuum pravzaprav ni prazen. Morda je "poln". To poznamo kot polarizacije vakuuma, kjer se ustvarjajo virtualni pari pozitron-elektron iz vakuuma.

Kaže, da vakuumsko stanje ni prazno, temveč je medij neke vrste. Einstein je rekel:

“Nisem izganjal ‘kvantnega etra’, marveč odklanjam, da bi imel mehanske lastnosti.” Če odstranimo mehansko naravo, potem ne vidim škode v ponovni vpeljavi pojma subkvantnega medija. Zares verjamem, da je neki globlji nižjeležeči proces, ki ga nismo še začeli razumevati.

7b *Ta nižjeležeči proces imenujete hologibanje?*

B. J. H.: Da, to bi se lahko razumelo kot subkvantni medij, če hočete. Jaz le ne maram besede “medij” zaradi njenega mehanističnega prizvoka. Obstaja nekaj, vendar se odvija tako hitro, da ne moremo diskriminirati, ne moremo še pobrati ven nobenih detajlnih oblik. Te invariance (stalnice) se razkrajajo daleč prehitro, da bi jih naše merilne naprave ulovile. To hitro aktivnost imenujemo hologibanje.

8 *V svoji interpretaciji vzamete procese (ne kakih elementarnih delcev) za osnovne. Vendar bi nekateri ljudje dejali, da so procesi sestavljeni neelementarni pojavi, ki izhajajo iz neravnovesja med osnovnejšimi elementi, kajne?*

B. J. H.: Da, ampak to pomeni potem iti nazaj k redukcionistični filozofiji. Mislim, da nam nelokalnost v KM pravi, da moramo opustiti redukcionizem. Ideja holističnega pristopa ne prihaja le iz ontološke interpretacije Davida Bohma. Če pazljivo berete Nielsa Bohra, potem najdete pojme kot “celovitost eksperimentalnih pogojev”, “celovitost pojavov”, kar implicira, da ne morete analizirati stvari. Niels Bohr je imel prav pri tej točki. Ta holistična narava je v ontološki interpretaciji razvidna skozi nelokalnost.

V kvantnih procesih je celovitost, ki je ne moremo razložiti. Zdi se, da je protislovje, da so delci skupaj in hkrati narazen v prostoru. Torej, če imamo stanje, ki zahteva neko vrsto holističnega opisa, tedaj moramo začeti z neko vrsto osnovnih elementov, ki jih ne moremo deliti naprej. Namreč, če jih bomo delili naprej, rekoč, procesi so sestavljeni iz podprocesov, ki so nadalje sestavljeni iz podpodprocesov itd., potem gremo spet po redukcionistični poti. Ni mogoče analizirati osnovnih procesov s čimerkoli globljim, ne da bi jih radikalno spremenili. Zato je Niels Bohr rekel, da ni ostre ločitve med opazovalcem ali opazovalno napravo in opazovanim. Če hočemo interagirati

z njim, da bi dobili več informacij o njem, spremenimo vse eksperimentalne okoliščine in zato spremenimo pojav sam. Torej moramo nehati s poskusi redukcionistične razlage kvantnih procesov.

8b *Tukaj me moti, da poudarjate holistično naravo hologibanja, hkrati pa je hologibanje pojem, ki nadomešča vakuum. Zdi se, da kar je bilo prej popolnoma prazno, je sedaj napolnjeno z nečim. Ali smo mi odgovorni za to – za zlom simetrije vakuuma – pri merjenju, pa tudi konceptualno?*

B. J. H.: To je zelo globoko vprašanje: če smo v holistični naravi, ali lahko imamo delne vidike, kako razstavimo to celoto v stanje, kjer lahko sploh govorimo o njej. Da bi obravnavali to v okviru pojma implikatnega reda, je David Bohm vpeljal idejo eksplikatnega reda. Znotraj implikatnega reda je vselej mogoče najti posebne vrste eksplikatnih redov, ki odražajo razne vidike hologibanja. Tedaj ni več mogoče odraziti “vsega”.

Opazovalec postane en “pol” in proces drugi “pol”, vendar je to le približek; v resnici sta še vedno dela istega celovitega procesa.

9 *Kaj je vloga algeber pri matematičnem formaliziranju pojma implikatni red?*

B. J. H.: Kot teoretični fizik se počutim zelo nesrečno ob splošnih konceptih, razen če najdem kake matematične strukture, s pomočjo katerih lahko obdelujem te koncepte. Ko smo raziskovali, kako najti matematiko za zvezo implikatni-eksplikatni red, sem bil pred mnogimi leti opozorjen na Hamiltonov članek z naslovom “Algebra kot čisti čas”. Med branjem tega članka se mi je zdelo, da so algebrski elementi tisti, s katerimi lahko opišemo procese. Grassman je imel podoben pristop. Rekel je: matematika se tiče misli. V matematični strukturi lahko nosimo *obliko* misli, ne njene *vsebine*. Ko govorimo o mislih, govorimo o postajanju (*becoming*, op. prev.), ne o bitju (*being*, op. prev.). Kako nastane nova misel: ali je neodvisna od prejšnje misli ali vsebuje sled prejšnje misli? Ali ima stara misel potencialnost nove misli? Ta proces med staro in novo mislijo je zvezen in ne morete delati poddelitve. Grassman je začel razvijati mate-

matiko, ki uporablja dvotočkovne entitete. Te raziskave so končno vodile v to, kar sedaj imenujemo Grassmanove algebre. V Cliffordovih rokah je algebra postala povezana z aktivnimi gibanji – rotacije, translacije in tako naprej. Algebra ujema bistvo gibanja in, ko gledamo različne vidike algebre, morebiti opisujemo *procese* prej kot stvari, potujoče v prostoru in času. KM se lahko popolnoma postavi v algebrasko obliko. To je Heisenbergov matrični pristop. Zato se zanimam za algebre in izgleda zelo obetavno.

10 *Pravite, da valovna funkcija ni funkcija stanja. Zakaj ne?*

B. J. H.: Vse težave z interpretacijo KM izhajajo iz odnosa, ki ga imajo ljudje do valovne funkcije. Če jo smatramo kot stanje nečesa, imamo vse paradokse – paradoks “Schroedingerjeve mačke”⁵, kolaps valovne funkcije itd. Če pogledam ontološko, bi rekel, da je psi res nekaj, kar lahko pripišemo objektu, ki ga opazujemo. Ne opiše pa objekta popolnoma – ni najpopolnejši opis stanja, kolikor ga lahko najdemo.

Presenetilo me je, da Niels Bohr v nobenem od svojih del nikoli ne omenja problema merjenja. Če jih pazljivo berete, ugotovite, da pravi, da psi ni funkcija stanja, je le del algoritma, iz katerega lahko izračunate verjetnosti izidov danih poskusov. Zdaj vidite, zakaj ni hotel povezati valovne funkcije s stanjem sistema. Zato, ker je dejal, da ni mogoče ločiti opazovanega sistema od opazovalca. Kaj pomeni pripisati oznako nečemu, česar ne morete deliti od drugega? Če tedaj rečete, da je to le del algoritma, tedaj problema kolapsa ni, ker ni funkcije stanja.

Zato sem prejle rekel, da ima Niels Bohr najbolj konsistentno interpretacijo KM. Vendar so z Bohrom problemi, ko predpostavi, da klasični svet obstaja. V modernih kozmoloških teorijah, po katerih je bil svet ustvarjen v kvantnem dogodku, ni klasičnega sveta. Zato je potrebno ponovno preverjanje, kaj KM zares pomeni.

V ontološki interpretaciji Davida Bohma ima psi drugi pomen. Smatra se, da je *realno* polje ali dve sklopljeni realni polji. V tem primeru vsi kvantni paradoksi izginejo! Ne dobimo t.i. problema merjenja, ne dobimo “paradoksa Schroedingerjeve mačke” itd. Vsaka od

teh treh interpretacij ima svoj nabor problemov. Katera je pravilna? Ali je vsaj ena med njimi pravilna? Vse tri so na neki način neustrezne in morali jih bomo preseči. Nismo še našli pravih kategorij, v katerih bi razumeli kvantne pojave, in zato moramo iskati nove. En predlog je implikatni red.

11 *Kaj je delec po vašem mnenju?*

B. J. H.: Na kateri ravni?

11b *Bi primerjali ontološko in epistemološko raven, s poudarkom na ontološki, ker je epistemološka bolj poznana?*

B. J. H.: V Bohmovi ontološki interpretaciji, ki je bila dobro dodelana, je predpostavljeno, da ima delec neko središče, neko jedro. Obstaja torej neki lokalni center tega celostnega procesa, ki ga opišemo s poljem in delcem.

Uporabljač implikatni red, bi si lahko predstavljali delec kot neko zunanjo manifestacijo nekega celovitega procesa razvijanja-zavijanja (*unfolding-enfolding process*, op. prev.). Delci bi se pojavljali le kot “rahlo žuborenje na površini vode”. Mi vidimo le površino.

Vi ste enkrat dejali, da vidimo le “vrh ledene gore”. V resnici pa imamo ogromno strukturo spodaj. To “žuborenje” predstavlja delce v hologibanju. Ni bilo dalje analizirano. Delci so nekakšne kvazistabilne semiautonome značilnosti tega procesa v ozadju.

12 *Kaj vam pomeni pojem “polje”? Kakšna je zveza med poljem in delcem?*

B. J. H.: Konvencionalni fizik bi rekel, da se lahko iznebimo delcev – saj je vendar vse grajeno s kvantnimi polji. Mene pa skrbi, da je prav to povzročilo toliko težav v splošni relativnosti, ko jo želimo kvantizirati. Za opis polja potrebujemo prostorsko-časovno mnogoterost in potrebujemo jo klasično. Splošna relativnost kaže globoko zvezo z gravitacijskim poljem in prostorsko-časovno mnogoterostjo. Če je gravitacijsko polje kvantizirano, tedaj polje fluktuiira, zato tudi prostor-čas fluktuiira. Kakšen je pomen polja, če sama struktura, v katero postavimo polje, fluktuiira, se trga? Pojem polja izgine v tem kontekstu. Zato tudi teorija polja ni dovolj in moramo iti k procesom, ne k procesom v

prostoru-času, temveč k procesom, iz katerih prostor-čas izhaja.

13 *Kaže, da je delec, denimo elektron, zelo kompleksna struktura. V kakšnem smislu? Notranje kot kompleksni sistem (ali "konfiguracija") "skritih spremenljivk" ali "bitnosti" (beables, op. prev.)? In zunanje kot element, ki je vpleten v kompleksno kolektivno vedenje polja kot celote, ter je tako sodoločen s sistemskim okoljem?*

B. J. H.: Večina fizikov jemlje elektron kot točkasti delec. V poskusih, ki so bili narejeni, da bi našli polmer elektrona, predpostavijo, da ima notranjo strukturo, ki jo opišejo z oblikovnim faktorjem (*form factor*, op. prev.). Naredijo sipalni eksperiment in ugotovijo, kakšen je oblikovni faktor. Ne najdejo nobene strukture. Torej, če ima elektron polmer, je manjši od 10^{-15} cm. Naravni sklep je, da je točkast.

Ampak zdi se zelo težavno razumeti, kako lahko točka procesira informacijo lastnega polja, ki prihaja nazaj iz okolja. Zato v ontološki interpretaciji postuliramo, da bi lahko bila neka struktura med 10^{-15} cm in 10^{-33} cm, ki je Planckova dolžina.

Ljudje sklepajo, da pri njej propade prostor-čas (jaz mislim, da se to zgodi že prej). Več velikostnih redov je med današnjimi eksperimentalnimi omejitvami in Planckovo dolžino, torej je dovolj prostora za globljo prostorsko strukturo. Vendar potem gremo v implikativni red, kjer se elektron obravnava kot neka vrsta sežemanja energije v skupek, ki se nato spet raztaplja, se spet zbere skupaj in tako naprej. To pa se ne dogaja v prostoru-času. Imamo lahko strukturo v elektronu, ne da bi bila v prostoru-času.

Vendar je vprašanje, kaj ta struktura je, prepuščeno prihodnjim raziskavam.

13b *V vprašanju sem omenil še drugo možnost, da so lastnosti elektrona podane z njegovo vlogo v celotnem sistemu...*

B. J. H.: Mislim, da je to res. Delec je veliko bolj kompleksna struktura, ki vključuje tako okolje kot tudi sebe. Korelacija med dvema vidikoma je tisto, kar je pomembno.

14 *Kako vidite "bootstrap teorijo"?*

B. J. H.: To je ideja Jeffreyja Chewa, ki je na neki način povezana z zadnjim vprašanjem, da vsaka stvar determinira vsako drugo. Če imamo holistično situacijo in ekspliciramo del le-te, tedaj drugi deli postanejo implicitni, vendar potem lahko eksplicirate drug vidik... Je nekakšno "bootstrapiranje" v tem⁶.

Chewova ideja je bila, da je vsak delec sestavljen iz vseh drugih delcev. Ni osnovnih delcev. To je v splošnih pojmih ista ideja kot naša, v posamičnem pa je "bootstrap teorija" fizike osnovnih delcev le postavila dvom, ali sploh imamo nabor osnovnih delcev. To ni ustrezno vprašanje za implicitni red, ker ta se v bistvu tiče *procesov*. Invariance v tem procesu so delci. Delci⁷ niso sestavljeni iz drugih delcev, ampak so invariantne oblike hologibanja. Torej niso zgrajeni drug iz drugega, ampak so vidiki tega splošnega procesa. Je nekaj sorodnosti, pa tudi nekaj razlik z "bootstrap teorijo".

15 *Kvantni potencial je odvisen od kvantnega stanja celotnega sistema na način, ki ne more biti definiran preprosto kot delci plus interakcije med delci. Odvisen je od mnogodelčne valovne funkcije (many-body wavefunction, op. prev.), ki se razvija v skladu s Schroedingerjevo enačbo. Kako je kvantni potencial odvisen od celotnega mnogodelčnega sistema?*

B. J. H.: Če predpostavimo subkvantni medij (kljub težavam, o katerih sva govorila prej), potem lahko pošiljamo nelokalne interakcije skozi subkvantni medij. Lahko rečemo, da kadarkoli je kakšen delec ali skupina delcev na določenem mestu v prostoru-času, tedaj je neka motnja tega medija odgovorna za koordiniranje gibanj delcev, ki so vključeni v mnogodelčni valovni funkciji. S trditvijo, da ne moremo imeti vnaprej predpisane valovne funkcije, pa menimo, da lahko imamo drug nabor delcev z drugo neproduktivno valovno funkcijo v istem območju prostora-časa kot prvi nabor delcev, in vendar se nabora delcev povsem različno vedeta. Ni mogoče najti subkvantnega medija, ki bi povzročil učinek, da bi se oba nabora delcev vedla na različen način. Na istem mestu v prostoru-času se v resnici skupina delcev obnaša na povsem različen način od drugih naborov delcev. Zato ne moremo imeti polja, ki korelira delce, kot

predpisano funkcijo pozicije... Ker sta na istem mestu, vendar se vedeta različno na teh mestih v prostoru.

Kvantni potencial se izkaže za nelokalnega, zato ker je valovna funkcija nelokalna. Valovna funkcija je funkcija delcev na mestu ena, mestu dve, mestu tri itd. ob istem času. Kvantni potencial se lahko izračuna iz tega, zato mora tudi kvantni potencial biti na mestih ena, dve, tri itd. ob istem času! Ta konkretni opis ga razkrije za nelokalnega, takojšnjega. V globlji teoriji kvantni potencial izhaja kot pojav iz globljih ravni – implikatnega reda in hologibanja.

16 Trdite, da je kvantni potencial informacijski potencial. Kakšna je razlika med silo (ali interakcijo) in informacijo?

B. J. H.: V klasični fiziki je amplituda polja, ki povzroča potencial, neposredno povezana z jakostjo sile. Če so med plavanjem v morju valovi zelo majhni, občutimo zelo majhen učinek. Če pa imajo valovi zelo velike amplitude, občutimo zelo velik učinek. Tako amplituda valov določa, kaj se bo zgodilo. To je klasično potiskanje in potegovanje.

Na drugi strani je sila, ki jo dobimo s kvantnim potencialom, neodvisna od amplitude polja. To pomeni, da imamo lahko zelo veliko amplitudo in ob tem zelo majhno silo ali pa zelo majhno amplitudo in zelo veliko silo. Majhne amplitude so uporabljane v radijskih signalih, na primer avdiofrekvence nosijo radijski valovi. Zelo majhne signale radijski sprejemnik potem ojači in dobimo običajni zvok. Z radijskimi valovi prenašamo informacijo.

Predlagamo, da elektron obdeluje informacijo na valu z občutljivostjo na stopnjo spremembe stopnje spremembe (drugi odvod) amplitude. Tako ni potrebe po sili, ki bi padala z inverznim kvadratom razdalje (kot velja pri klasičnih silah). To je lahko nosilec nelokalnosti, saj zahteva le zelo majhne amplitude za prenos teh signalov. Predlagamo, da je polje, ki povzroča kvantni potencial, informacijsko polje. To ni informacijsko polje v tistem smislu, v katerem je radijski signal informacija za nas, temveč moramo uvideti dejanski smisel informacije. Informacija dobesedno pomeni formirati od znotraj (*in-formation*, op. prev.). Energija za zvočnik prihaja iz baterije (tukaj še vedno lahko uporabljamo analogijo z radiom)

iz radia samega. V primeru elektrona ta energija prihaja iz elektrona samega tako, da spremeni gibanje in se odziva na informacijo v signalu. Kot nosilca informacij raje uporabljamo kvantni potencial kot klasične potisne sile. Torej ne gre le za različno silo, ampak za skrajno različno kakovost sile. Poudariti je treba, da ta informacija ni Shannonova, ki se uporablja pri komunikacijah, temveč je druge vrste.

16b Od kod elektron dobi energijo, da se lahko odzove na to informacijo?

B. J. H.: Energija prihaja od znotraj, lahko pa prihaja tudi iz vakuumu (hologibanja).

Pri stacionarnem stanju se energija ohranja in pride do izmenjave energije med kinetično energijo, klasično potencialno energijo in kvantno potencialno energijo – jemanje ene vrste energije in vračanje v drugi obliki. Vendar vse to prihaja iz notranjosti elektrona samega. V nekem smislu gre za samoorganizacijo. Elektron organizira samega sebe zato, ker je polje, ki je del elektrona, neločljivo od elektrona samega. Predlagamo torej, da je samoorganizacija prisotna na zelo osnovni ravni.

17 Uvajate tudi drugi pojem – superpotencial (ki ga uravnava Schroedingerjeva supervalovna enačba), ki je v takojšnjem (nelokalnem) stiku z vsemi delci. Kaj to pomeni?

B. J. H.: Moramo naravno razširiti nerelativistično KM v relativistično področje, sicer bi imeli le delno razlago. Izziv je bil opisati fotone na primer. Obstaja velika razlika med načinom, s katerim jih opisuje de Broglie, in načinom, s katerim jih opisuje Bohm. Midva z Bohmom sva ugotovila, da obravnava fotonov kot delcev z nerelativistično KM ne deluje. Zato smo bili v primeru bozonov prisiljeni preiti k teoriji polja. Izkazalo se je, da bi v teoriji polja lahko uporabljali podobno vrsto načel, kot jih uporabljamo v teoriji delcev.

V teoriji delcev imamo polje in valovno funkcijo tega polja; tako imamo valovni funkcional. Ta valovni funkcional je rešitev enačbe, ki je podobna Schroedingerjevi. V nekem smislu je foton stvar ne valovne funkcije polja, temveč polja samega. Tako tukaj dobivamo dve ravni. Diskretna manifestacija elektromagnetnega polja, foton, izhaja iz klasičnega polja, ki ga nadzoruje

ali vodi superpolje. To superpolje zadošča Schroedingerjevi superenačbi in povzroča superkvantni potencial. Tako kvantni potencial nadzoruje polje in fotoni so pravzaprav vidiki tega polja. S tem imamo dvonivojski nadzor fotonov.

18 *Vi bi se radi izognili posebni vlogi opazovalca v kvantni teoriji. Zakaj? Kaj predlagate za nadomestek?*

B. J. H.: Vzrok, zakaj kdo misli, da opazovalec ne bi smel igrati take pomembne vloge, kot so mu jo dale določene interpretacije KM, je v kozmološkem problemu. Zdaj verjamemo, da je vesolje nastalo v kvantnem dogodku. Če želimo obravnavati evolucijo tega kvantnega dogodka, moramo vedeti, da v tistem času zagotovo ni bilo opazovalcev. Ne moremo uporabljati teorije, ki je odvisna od opazovanj. Opazovalec ne sme priti v opis kvantnih procesov. KM je bila uvedena, da bi razložila stabilnost materije. Če je kvantna teorija odvisna od opazovanj, tedaj je struktura te mize odvisna od opazovalca. To je noro! Zemlja je bila tukaj pred ljudmi, ki so jo opazovali!

Zatorej, zakaj imamo teorijo (ortodoksno KM, op. M. P.), ki je tako odločilno odvisna od opazovalca?

Vprašali ste me, kaj predlagam namesto tega. Kvantni prehodi naj bi bili nekaj, v čemer opazovalec ne bi igral nobene vloge. Ne bi smelo biti nobene potrebe po opazovalcu. Če uporabljamo pojem informacije, imamo nove kvalitete, ki jih imenujemo aktivna informacija, pasivna informacija in neaktivna informacija. Aktivna informacija deluje na delec v določenem času; pasivna informacija ni dostopna delcu v tem trenutku. Vendar bo v poskusu z dvema režama informacija o tem, da je druga reža odprta, končno dosegla delec in bo delovala nanj. Torej informacija postane aktivna v kasnejšem času. Neaktivna informacija, ki se zaradi nekaterih ireverzibilnih procesov⁹ izgubi in delec je ne doseže nikoli več. S konceptom neaktivne informacije lahko dejansko razložimo meritev brez vključitve človeškega opazovalca. V prisotnosti merilne naprave je postala informacija neaktivna in je delec ne more več obdelovati. To je ekvivalentno "kolapsu valovne funkcije" v običajnem pristopu KM. Pri nas valovna funkcija ni kolapsirala; informacija le ni več dostopna delcu.

18b *Kdo odloča o tem, katera informacija bo aktivna in katera neaktivna?*

B. J. H.: Nihče ne odloča. Da bi videli, kaj se zgodi, moramo pogledati enačbe... Poglejmo paradoks "Schroedingerjeve mačke": Foton leti v zaboj, katerega stene ga z verjetnostjo ena polovica prepustijo skozi ali ga s polovično verjetnostjo ne prepustijo. Če je prepuščen skozi steno, foton sproži pištolo, ki ustrelji mačko. Če obdelate kvantni potencial za primer, ko je pištola streljala, morate obdelati tudi pozicijo smodnika, sprožilca itd. v strelni poziciji. Če uporabite isto pozicijo za nestrelni primer, dobite rezultat nič. Kvantni potencial objektivno ne deluje zaradi makroskopskih gibanj delcev, ki so vključena v napravi. Tako se izkaže, da je kvantni potencial enak nič. Torej, nihče ne odloči. Je nič in v tem smislu postane neaktiven. Torej sploh nobene človeške intervencije ni.

Obstaja verjetnost povrniti vse z vrnitvijo vseh pozicij vseh vpletenih delcev, vendar če to naredimo, potrebujemo drugo napravo. Zaradi drugega zakona termodinamike entropija narašča, zato ne moremo obrniti vsega. Torej, če imamo ireverzibilen proces, informacija postane neaktivna za vselej.

19 *Obstaja več odgovorov na vprašanja glede "kolapsa valovne funkcije". Ali bi se strinjali, da je to vprašanje nivoja obravnave: globalno ali holistično ni nobenega "kolapsa", lokalno ali "individualno" (po zlomu kvantne celote na ločene dele – opazovalca in opazovanega, na primer) pa imamo "kolaps"?*

B. J. H.: Mislim, da sem v bistvu to obrazložil že prej. Ni kolapsa, ker je informacija še vedno tam, le delcu ni dostopna. Torej, če imate skupino delcev in izvedete merjenje na nekaterih, tedaj merski proces razbije korelacijo, ki je implicitna v valovni funkciji, tako da informacija teh delcev ne more biti sporočena preostanku delcev. Informacija postane neaktivna in zlomi sistem na dva ločena dela.

20 *Zdi se, da sta predlagana dva opisa. V prvem je fizikalni sistem opisan s Schroedingerjevo enačbo in ga potem duševnost (mind, op. prev.) ali zavest "kolapsira". "Kolaps" ni opisan s Schroedingerjevo enačbo. Na globalni*

ravni pa je meritev plus duševnost ali mišljenje ali zavest opisana s Schroedingerjevo enačbo in tukaj nezvezni "kolaps" ni potreben. Ali lahko ti dve ravni sobivata?

B. J. H.: To izhaja iz obravnave von Neumannovega in Wignerjevega pristopa h KM. Z vključitvijo kolapsa predpostavijo, da je valovna funkcija najpopolnejši opis stanja sistema. Von Neumannov argument je bil, da najprej lahko uporabimo Schroedingerjevo enačbo za sistem, nato uporabimo KM za merilni instrument plus sistem, potem za oko plus merilno napravo plus sistem, nato še za optični živec itd. in tako nadaljujemo dalje in dalje v duševnost. Nato mora priznati, da končno obstaja stanje, ki ga oseba zaznava. Torej je to v nekem smislu dualistični pristop. To, kar se zgodi v duševnosti, karkoli že je, se zgodi izven fizike. V tem pristopu bi von Neumann in Wigner rekla, da ne morete analizirati dalje, morate narediti rez. Ne morete analizirati duševnosti. To je nekaj povsem onstran naših izkušenj.

No, to pa se sedaj precej spreminja. Ljudje želijo razumeti duševnost in zavest. Zato niso zadovoljni s sedanjim stanjem KM, ker mislijo, da mora biti duševnost prav tako del kvantnih enačb... Ne mislim, da je KM konsistentna na tej ravni.

21 *Ali bi lahko rekli, da "vsi deli univerzuma kolapsirajo valovno funkcijo vseh drugih delov"? (Lahko uporabljamo besedo "kolaps" v vašem smislu?)*

B. J. H.: Strinjam se z vami, da je težava, ko začnemo s kvantno kozmologijo in je vse povezano z vsem drugim. Razložiti moramo, kako obstaja klasični svet. Če hočemo razložiti to, moramo obravnavati podcelote. Procesi v teh podcelotah so odgovorni za "kolaps valovne funkcije". Tako v tem primeru vsak del univerzuma v nekem smislu kolapsira valovno funkcijo vsega drugega. V svoji knjigi sva poskušala pokazati, da je možno, da klasični svet izide iz kvantne celote, vendar me detajli še vedno skrbijo.

22 *Ali bi primerjali "kolaps valovne funkcije" in rekonstrukcijo tridimenzionalne slike iz holograma¹⁰?*

B. J. H.: V kakšnem smislu mislite?

22b *Mislim, da je "kolaps valovne funkcije" analogen priklicu slike iz holograma. Ko rekonstruiramo sliko iz holograma, pošljemo referenčni žarek še enkrat skozi hologram in s tem dobimo iz njega ustrezno posamezno sliko. Torej v obeh primerih gre za neko vrsto prehoda iz implikatnega v eksplikatni red – izmed mnogih možnih stanj dobimo eno.*

B. J. H.: Pravzaprav me sprašujete precej bolj splošneje: kako eksplikatni red izhaja iz implikatnega reda. Ne mislim, da imam zadovoljiv odgovor na tej ravni. Obstaja veliko različnih eksplikatnih redov. Kako torej odločimo, kateri morajo biti udejanjeni v določenem času? Zdi se, da to zahteva drug proces – proces eksplikacije. To pa je končno povezano z drugim vprašanjem, kako se pojavi klasični svet. Ker namreč potem, ko se klasični svet začne pojavljati, lahko ta svet uporabljamo za eksplikacijo različnih manifestacij hologibanja.

23 *Penrose pravi, da gravitacija "kolapsira" valovno funkcijo. Wigner in von Neumann sta govorila, da zavest "kolapsira" valovno funkcijo. Kako bi vi definirali supergravitacijo, supersimetrijo, zavest, in kakšna je zveza ali razlika med temi pojmi, vključno z vakuumom ali raje hologibanjem?*

B. J. H.: Oh, to je res veliko vprašanje, za katerega bi lahko porabili ure diskutiranja. Dal bom nekaj namigov. Razložil sem že Wignerjevo in von Neumannovo stališče; pogledjmo še Penrosovo. Penrose ima zelo zanimivo idejo, ki izkorišča celo posebno značilnost splošne teorije relativnosti: energija ne more biti lokalizirana. Meni, da je ta nelokalna značilnost splošne relativnosti povezana s kvantno nelokalnostjo. Zato predlaga, naj bo gravitacija tista, ki je odgovorna za kolaps. In če je to res, bi to bilo enkratno, ker bi nam priskrbelo objektivno pot gledanja na kolaps. Toda ta pristop predpostavlja, da je valovna funkcija najpopolnejši opis stanja sistema. To je predpostavka, ki sem jo jaz postavil pod vprašaj.

Supersimetrija je način kombiniranja fermionskih in bozonskih struktur. V njej bi lahko pretvarjali fermione v bozone in bozone v fermione¹¹. To po mojem znanju ne bi bilo

preveč uspešno, ker predpostavlja mnogo različnih delcev, ki niso bili opazovani. Supergravitacija izhaja iz tega, zato ker je privikrat videti, da se gravitoni pojavljajo kot neke reprezentacije teh supersimetričnih grup. Spet je tukaj velika ekstrapolacija in nisem prepričan, ali je to resen predlog na tej stopnji, četudi je zelo zanimiv.

Kako je zavest povezana z vsem tem, je zelo težavno vprašanje. Gotovo je bila zavest vpeljana z Wignerjem, vendar tukaj ni razlage zavesti, ker zavest uporablja za razlago "kolapsa valovne funkcije". Z drugimi besedami, Wigner verjame, da KM potrebuje zavest. Na drugi strani Penrose meni, da zavest potrebuje KM, ker verjame, da je enotnost zavesti lahko zajeta bodisi v holističnem pogledu na naravo bodisi v dejstvu, da obstaja sobivanje vseh od mnogih vej valovne funkcije. Če kdo lahko pripravi gravitacijo, da "kolapsira" eno vejo, potem so te stvari nekako povezane z zavestjo. Pravi, da ni mogoče narediti umetnointeligenčnega modela zavesti in da je vpleteno nekaj drugega. Uporablja idejo neizračunljivosti. Meni, da je kolaps mesto, kjer lahko prenehamo z izračunljivostjo. Če bi lahko imeli zavest in kolaps povezana skupaj, tedaj bi imeli nekaj, kar ni izračunljivo, in torej nekaj, kar gre onstran močne umetne inteligence. Vendar ni jasno obrazložil, ko sem z njim govoril novembra (1993). Ni razložil, kako gravitacija kolapsira valovno funkcijo, vendar utegne njegova nova knjiga poseči globlje v ta vprašanja.

23b Penrose pravzaprav pravi, da je neka kritična količina nevronov tista, ki povzroči neko vrsto faznega prehoda¹², podobnega "kolapsu valovne funkcije".

B. J. H.: Da, potrebno je dovolj energije za ustvarjenje gravitona...¹³

24 Zakaj je "kolaps valovne funkcije" tako skrivnosten? Ali se mu res lahko izognemo, tudi konceptualno? Če bi rekli, da valovna funkcija "kolapsira" eno lastno stanje in ga tako eksplikativno realizira, hkrati pa so vsa ostala lastna stanja še vedno prisotna implikativno (in tudi potencialno), bi to bilo prav?

B. J. H.: Gotovo lahko to postavite takole. Vendar, še enkrat, tukaj je več različnih ravni.

Če vzamemo ontološko interpretacijo, imamo problem s "kolapsom valovne funkcije". Vzrok, zakaj določena veja ostane aktivna, vse druge pa postanejo pasivne, je podan z začetnimi pogoji. Česar pa v ontološki interpretaciji ne moremo storiti, je, točno nadzorovati začetne pogoje. Tako v odvisnosti od začetnih pogojev, ki jih imamo, lahko vemo, da je npr. "Schroedingerjeva mačka" definitivno mrtva ali živa. Začetni pogoji so v ontološki interpretaciji nenadzorljivi in nepredvidljivi.

25 Ali bi sedaj, prosim, opisali svoj pojem predprostora in kako poskušate izpeljati prostor-čas in materijo iz osnovnega nižjeležečega hologibanja?

B. J. H.: Če uspete kvantizirati gravitacijsko polje, bo fluktuiralo na enak način, kot ima kvantizirano elektromagnetno polje v sebi fluktuacije. Če predpostavimo, da je splošna teorija relativnosti pravi način za obravnavo gravitacije, tedaj vemo, da je metrični tenzor potencial za gravitacijsko polje. Metrični tenzor pove, kakšne so merske lastnosti prostora. Torej, če gravitacijsko polje fluktuira, tedaj metrični tenzor fluktuira. Kaj fluktuirajoče polje pomeni? Ena pot je postaviti veliko različnih prostorov-časov v linearno superpozicijo, vendar to naredi zmedo...

To je pravzaprav vprašanje kategorij. Tukaj se še naprej vzdržujejo kartezijske kategorije. Naš predlog je, da ko začnemo s *procesom* (definitivno ne smemo začeti s prostorom-časom), tedaj bo prostor-čas izšel kot vrsta eksplikativnega reda. Predprostor je ta vidik hologibanja, iz katerega lahko izpeljemo prostor-čas v obliki nekega eksplikativnega reda.

26 Kaj je hologibanje? Ali je nič in hkrati vse? "Nič", ko z njim ne interagiramo eksplikativno; "vse", ko z lomimo simetrijo s tem, da naredimo interakcijo z njim?

B. J. H.: Lahko rečemo tako. Naša ideja je, da "nič" (*nothing*, op. prev.) pomeni, da ni ničesar (*no-thing*, op. prev.). To je povezano z vakuumom. Nam se zdi zelo težavno razumeti različna vakuumska stanja. Spomnite se, da ko je Maxwell govoril o vakuumu, ga je definiral kot nekaj, kar ostane, ko vzamemo ven vse (vse stvari) (*everything*, op. prev.), kar poz-

namo. Torej, ne gre zares za nič (*nothingness*, op. prev.). Če so v njem kake značilnosti, ki jih ni mogoče vzeti ven (to pomeni, da v njem ni nobenih stvari), to še ne pomeni, da tudi v vakuumu ni nobenih procesov. Stvar ali delec je le semiavtonomna kvazistabilna značilnost; ima končni življenjski čas; ni entiteta v sebi. Če ne bi imela končnega življenjskega časa, je ne bi nikoli videli. Vendar to ne pomeni, da ne obstaja. Procesi, gibanja so v vakuumu tako hitri, da moramo zaključiti, da v njem ni stvari, vendar pa je veliko energije in aktivnosti, ki je brez oblik. Ko merite ali interagirajte z vakuumom, zlomite simetrijo in stvari ustvarjate v njem.

27 Ali obstaja več vrst vakuumu ali hologibanja?

B. J. H.: Da, obstajajo neistovetna vakuum-ska stanja. Bogoljubov je v Rusiji naredil takšne transformacije, ki predstavljajo spremembe iz enega vakuumskega stanja v drugega, in zmožgel jih je uporabiti za razlago pojavov superprevodnosti in superfluidnosti¹⁴. Hologibanje vsebuje vse te različne vakuume.

28 Kakšna je vloga duševnosti in zavesti v vaši interpretaciji KM?

B. J. H.: Če vzamete Bohmovo ontološko interpretacijo, potem je možno vključiti duševnost, vendar ne neposredno, kot npr. v von Neumann-Wignerjevem pristopu. Ne prikažemo kvantnih pojavov neposredno, temveč vselej osvetlimo njihove učinke na klasično materijo. Pravimo, da so nekateri deli materije udeleženi in da so kvantne značilnosti bolj subtilne, te subtilne značilnosti pa se kažejo v manifestnem redu. Ko preidemo k možganskim funkcijam in mišljenju, je najboljša pot razlage, če obravnavamo, kaj se zgodi, ko vidimo senco v temi. Takoj je tukaj kemični odziv – adrenalin teče, kri teče hitreje, elektrokemični procesi se dogajajo, postajamo prestrašeni in začnemo se potiti. Če je ta senca prijatelj, se vse to takoj neha. Torej, misli imajo kemično plat, pa tudi subtilno plat. Če hočete, lahko idejo razširimo na vse fizikalne procese in rečemo, da ima vsak proces v naravi svojo manifestno plat in svojo subtilno plat. Lastnosti, podobne duševnim, se vedno izražajo v subtilni plati. V KM

na nižji ravni imamo kvantne procese na subtilni plati; imajo "duševnim podobne" (*mind-like*, op. prev.) lastnosti. Te značilnosti postajajo bolj in bolj izrazite, ko preidemo k materiji možganov. Torej imamo v možganih kemično plat, ki je manifestna plat, in subtilno plat – misli. Misli so torej izražene v subtilni strani. Še vedno se zdi, da gre pri teh dveh plateg za dualizem. Vendar je bila Bohmova ideja, da če pogledamo manifestno stran, vidimo nekaj manifestnih značilnosti in nekaj subtilnih značilnosti. Če pogledamo subtilne značilnosti, opazimo nekaj subtilnejših značilnosti, tako da tiste značilnosti, ki niso tako subtilne, smatramo za manifestne. Imamo celo hierarhijo... Kadarkoli naredimo rez, vselej dobimo manifestni pol in vselej subtilni pol. Nikoli ni dualizma; vedno sta le dve strani in skupaj tvorita enoto, kjer se duševno in materija dejansko združita in postaneta neločljiva – četudi na višji ravni lahko ločimo med manifestno in subtilno platjo. Pač pa je ves ta proces duševnost in Bohm šteje aktivnost za tisto, kar sestavlja zavest. Živimo v vesolju, v katerem so delitve pojavi, ne bistva.

29 Ali vas smem zdaj vprašati neposredno, kaj je duševnost po vašem mnenju? Kaj je osnovni medij duševnosti?

B. J. H.: Duševnost ni entiteta zase. Duševnost so razmerja med tistim, kar se lahko manifestira na določeni stopnji, in subtilnimi značilnostmi znotraj tega manifestnega reda...

29b Kaj je narava teh subtilnih značilnosti, ki so "podobne duševnim"?

B. J. H.: To so značilnosti, ki delujejo kot informacije. Na primer, če se sprehajate in se pojavi senca, ima to vlogo aktivne informacije opozorila, ki gre v možgane in sproži kemične procese. Nato pride nadaljnja informacija in status prejšnje informacije se spremeni. Lahko postane neaktivna. Tako imamo zvezno spremembo informacije od aktivne k pasivni do neaktivne. Proces je tisto, kar kaže "duševnosti podobno" kakovost ("mind-like quality"). Duševnost je sposobna procesirati to informacijo. Kako jo procesira? Z nevronskimi mrežami ipd.? To je nekaj, kar poskušajo raziskovati ljudje, kot ste vi.

29c *Torej, to vprašanje ostaja, ali ti procesi potekajo na nevronske ravni ali na kvantni ali na obeh ravneh?*

B. J. H.: Načelo kvantnih procesov je tisto, ki je pomembno, ne KM sama. Ne uporabljamo Schroedingerjeve enačbe na vseh ravneh. Raje rečemo, da so na vsaki ravni mehanske značilnosti, ki jih vodijo klasični procesi, in subtilne značilnosti, ki jih vodi neločljivost. Če hočete, je to vrsta kvantnega potenciala, vendar ne nujno kvantni potencial, ki izhaja samo iz Schroedingerjeve enačbe. Lahko izhaja iz veliko subtilnejših procesov. Vendar je bistvo v pogledu v notranjost teh procesov in vprašanju, ali se pojavi celovitost. Nismo še prevedli tega v detaljne odnose s procesi v možganih. Videli smo, kako te značilnosti vzhajajo v KM, moramo pa še videti, kako se pojavljajo v možganih.

30 *Jaz raziskujem analogije med asociativnimi nevronskimi mrežami in kvantno teorijo. Med njima vidim velike podobnosti. Ali mislite, da sta ti dve ravni v neki vrsti fraktalne razmerja?*

B. J. H.: Da, o tem sva z Davidom Bohmom diskutirala, preden je umrl. Vpeljal je (v knjigi skupaj z Davidom Peatom) nov pojem generativnega reda. Implikativni-eksplikativni red sam zase ni zadosten. Vzemimo za primer proces razvijanja (*unfolding*, op. prev.), ki je ponazorjen kot poskus s kapljico črnila, s katerim se prikazuje implikativni red. Pri njem ustvarite strukturo in pokaže se, da se obnovi tudi kasneje¹⁵. Res potrebujemo globlji red, v katerem je možnost ustvarjati nove strukture in nove rede. Evolucija, na primer, ne poteka zgolj slučajno; nekaj ustvarjalnosti je v tem hologibanju. Zato Bohm potrebuje generativni red, za katerega pravi, da ima nekaj skupnega s fraktali kot samopodobnost. Vendar mislim, da moramo iti še globlje od tega. Imamo dve vrsti gibanj: eno linearno, ki je bilo razvitje črnilnih točk, in tudi globlje gibanje, ki ga še nismo povsem obvladali, to je spreminjanje celotnega gibanja in ustvarjanje nove informacije in novih oblik. Kako to naredite z nevronskimi mrežami, ne vem. Nisem še videl, da bi to kdo postavil v obliko generativnega reda. Z njim gremo onstran KM. Govorimo o obliki, ki

lahko nosi vsebino. Ta red prevzema ideje KM, vendar ne uporablja enačb KM. Najti moramo primerne enačbe.

31 *Ali bi bilo primerno identificirati, le zavoljo modeliranja, "skrite spremenljivke" ali "bitnosti" s formalnimi nevroni v modelu nevronske mreže (torej ne s pravimi nevroni kot togimi biološkimi celicami, temveč kot abstraktnimi matematičnimi točkami)?*

B. J. H.: To gotovo je tisto, kar tudi sam poskušam raziskovati – kako matematizirati proces. Imamo že nekaj zasnov, uporabljajoč kombinatorno topologijo, kjer lahko analiziramo strukturo procesa s simpleksi itd. John Shawe-Taylor je dejal, da je struktura, o kateri sem govoril, zelo podobna nevronskim mrežam. Rad bi to raziskal podrobneje, to predstavil v matematični obliki ljudem, ki delajo s teorijo nevronskih mrež, in sodeloval z njimi, da bi videli, ali res lahko združimo ta dva nabora idej.

32 *Kako bi se odzvali na hipotezo, da je specifična zavestna interakcija, ki uporablja znanje o kvantnem sistemu, potrebna za "lokalni kolaps" valovne funkcije? Namreč, v hologramu (in v nevronskih mrežah tudi) sistem rekonstruira ("kolapsira v") lastno stanje (vzorec), če nekdo sproži takšno rekonstrukcijo s tem, da predstavi mreži samo del vzorca. Tako s poznavanjem enega dela vzorca lahko sproži samoorganiziran proces sistema, ki rezultira v rekonstrukcijo celega lastnega stanja ali vzorca. Brez poznavanja dela vzorca bi bila možna samo naključna interakcija in s tem bi bila zelo majhna verjetnost, da bi takšna naključna interakcija vsebovala "delno informacijo", potrebno za "kolaps". Znanje pa zelo dvigne verjetnost za tak dogodek. Kakšen je vaš odziv na to?*

B. J. H.: En vidik, ki manjka v kvantnem sistemu, je ideja aktualizacije. Vzrok za to je, da KM vztraja pri unitarnih transformacijah. Te pa niso nič drugega kot prepisovanje. Nič novega ne prihaja iz tega...

Prigogine je tudi delal na tem, in naše teorije imajo, kot kaže, veliko podobnosti. On je raziskoval vprašanje časa, vprašanje ireverzibilnosti. V implikativnem redu, ki ima ireverzibil-

nost v sebi, imamo možnost izpeljati čas. Imamo možnost usmerjenosti, približevanja enemu atraktorju, določanja evolucije sistema. To bi bilo treba dodati KM, da bi jo pripeljali bliže temu, kar delate na področju nevronske mreže, kjer imate atraktorska območja itd. To manjka v KM ali se zdi, da v KM ni nujno. Prigogine trdi, da bi to lahko rešilo problem kolapsa, če bi gledali na psi kot na najbolj popoln opis kvantnega sistema. Nisem prepričan, če ima v tem prav; tukaj je nekaj velikih težav, je pa zelo zanimivo. Nekaj je treba dodati KM, da dobi energijske vrtače, ki prinašajo stabilnost in možnost razpoznavanja vzorcev v teoriji nevronske mreže. Proces rekonstrukcije ni nujno kvantnomehanski pojav, saj lahko rekonstruiramo hologram preprosto zato, ker so odnosi že implicitno zastopani – vse lokalne relacije, vsi prostorski odnosi in odnosi sosednosti so že notri. Bistvo je najti algoritem, ki bo zapolnil manjkajoče člene teh odnosov. To izhaja iz algebr procesov (ena med njimi je Fourierova analiza). Torej, nisem prepričan, ali bo KM v pomoč ali oviro pri razumevanju teh problemov.

Nisem prepričan, ali je to odgovor na vaše vprašanje. Kaj mislite s slučajno interakcijo?

32b *Če nimamo znanja o delu lastnega stanja (vzorca), tedaj se kolaps ali, analogno, rekonstrukcija vzorca ne bo pojavila. Naključna interakcija je ne bo povzročila. Potrebujemo zelo specifično interakcijo, ki vključuje informacijo.*

B. J. H.: Da, zlahka se da uvideti, zakaj pomaga, če imamo znanje, saj poberemo ven tiste odnose, ki ustrezajo. Od kod prihaja to znanje? Iz spominskih sledi. Vidite, to bi lahko naredili povsem mehanično. Lahko bi imeli celotno bazo podatkov. Vaši lastni vektorji označujejo spomine. Če imate določene lastne vektorje, tedaj se sistem prelije k določeni celoti – kjer imamo celotno informacijo in spomin o prejšnjih izkušnjah. Ne mislim, da je tukaj karkoli ustvarjalnega; je čisto mehanično, razen če sem zgrešil bistvo vašega vprašanja.

Jaz tega, kar sproži kolaps, ne bi imenoval "znanje". Jaz bi to imenoval "spominsko znanje". Znanje je vedeti o čem. Gledamo v knjigo in tam je vse zapisano; to ni dinamično; to ni razumevanje...

32c *Seveda, za znanje potrebujemo spomin...*

B. J. H.: Če govorimo o sodbah, potem je to spet nekaj drugega. Če imamo nekaj, kar nam pove, katero lastno stanje uporabiti, tedaj imamo nekaj, kar presega mehanično...

32d *Da. Tukaj mislim na znanje kot nekaj, kar določi začetne pogoje za proces rekonstrukcije vzorca.*

B. J. H.: Odločiti? Izbrati lastno stanje, ki bo uporabljeno.

32e *Da... No, to je bolj vprašanje kognitivne ravni.*

B. J. H.: Ne mislim, da moreta KM sama in splošna oblika Bohmovih predlogov glede zavesti karkoli pomembnega reči o tem na tej stopnji. Vprašanje je, ali je duševnost povsem mehanska. Če je, potem lahko uporabljate načela klasične mehanike.

32f *Ne, ne verjamem tega (vsaj ne za zavest).*

B. J. H.: Dobro, torej duševnost ni mehanska; holistična je. Zato mora biti neko prevevanje manifestnega vidika in subtilnega vidika. Kaj je to v primeru pojma "znanje", ki ga vi uporabljate, v tem trenutku ni jasno.

32g *Vprašanje je, do katere stopnje so klasični kompleksni sistemi zadostni in na kateri ravni potrebujemo zavest in KM, da sodeluje pri duševnih procesih.*

B. J. H.: To je zelo globoko vprašanje, na katerega moramo odgovoriti. Z drugimi besedami pravite, kar sem že sam prej rekel, da moramo ugotoviti, kateri manifestni vidiki prikazujejo subtilne vidike duševnosti podobnih kakovosti, ki izvedejo odločitve. Ni jasno, ali so za to odgovorni določeni nevrotansmitterji, ali je odgovorno dendritsko polje ali neko superpolje ipd.¹⁶ Ali lahko duševnost vpliva na kvantni potencial? Trenutno ne vemo odgovora.

32h *Mislim, da tudi teorija nevronske mreže potrebuje pojme, kot so implikatni in eksplikatni red.*

B. J. H.: Strinjam se. Vprašanje je, kako te splošne ideje, o katerih sem govoril, prevesti v posamezne situacije, v katerih se ukvarjamo z mrežami ipd.

33 *Na koncu posebno vprašanje: Kakšna je vloga transcendentalnih meditativnih in mističnih doživetij v kontekstu vsega intervjuja? Profesor Bohm je razmišljal tudi o tem, kajne? In vi osebno tudi?*

B. J. H.: Ne vem povsem natančno, kaj mislite s transcendentalno meditacijo. Bohm gotovo ni bil človek, ki bi hotel transcendirati..., vendar je zagotovo čutil, da ima človek tudi duhovno stran. Ne bi ga imenoval religioznega človeka, bil pa je zelo tenkočuten, zelo zavesten, vedno je iskal harmonijo, razumevanje, koherenco. V nekem smislu je tudi to neka vrsta duhovnosti. Zelo je bil zavzet z vprašanjem, kako obravnavati celovitost, kako lahko govorimo o njej, kako jo lahko analiziramo in uporabljamo; kako smo lahko ustvarjalni. Potem je začel razvijati ideje, ki imajo določene resonance z vzhodnjaškimi tradicijami, meditacijo, mističnimi izkušnjami. Ne verjamem, da bi jih imenoval mistična doživetja; govoril je o tišini duha, ki bi omogočila implikatnemu redu duševnosti, da bi vzpostavila nove eksplikativne rede ali dopustila generativnim redom, da bi bili ustvarjalni... Poskušal je to narediti v duhu. V tem smislu lahko rečemo, da je bilo to mistično doživetje. Vendar ne mistično doživetje v smislu, v katerem bi veliko ljudi uporabljalo besedo.

33b *Hotel sem vas vprašati, ali je mislil, da je mogoča izkušnja oziroma doživetje celote, o kateri je često govoril, in na kateri ravni nastopa ta celovitost, ki jo je mogoče doživeti v duhu?*

B. J. H.: Gotovo je čutil, da misli neposredno zaznavajo implikatni red. To mi je povedal ob mnogih priložnostih. Nikoli ni trdil, da bi kdaj imel mistična doživetja; zavedal se je tega, ker se je pogosto pritoževal nad šumom misli. Poudariti moram, da je bil David Bohm zelo zaseben. Težko mi je bilo z njim načeti diskusijo take vrste. Če poskušam to izluščiti iz najinih razprav, vem, da dosega mistične ravni ni bila na urniku. Poskušal je razumeti implikatni

red, vendar ker je to zahtevalo presego celo misli, je bilo v tem smislu nekakšno mistično doživetje.

34 *To je odgovor na moje vprašanje...*

Če sklenemo: ali so ostale še kakšne teme, ki v tem intervjuju niso bile obdelane; moramo karkoli dodati ali poudariti?

B. J. H.: Navedenih idej ne predstavljamo kot utrjene teorije. To so prej predlogi na zelo primitivni razvojni stopnji. Vzrok, zakaj potrebujemo eksplikativni red, je ta, da zelo pogosto, bodisi v duševnosti bodisi v KM, lahko prikazemo le delni vidik realnosti.

Vključeni smo, sodelujemo v naravi in to nujno pomeni, da nam ni omogočen pogled na naravo od zunaj, "pogled tretjega očesa" in razumski pregled celote realnosti.

Privzemimo, da v KM pozicija izhaja iz procesa. Lahko ekspliciramo pozicijo, ne moremo pa ničesar reči o gibalni količini, ali pa lahko ekspliciramo gibalno količino, ne da bi lahko karkoli povedali o poziciji. V tem smislu ima načelo nedoločenosti nekaj skupnega z opazovanji, vendar nekaj ontološkega. Zelo smo si domači s takšnimi stvarmi, ki se dogajajo v možganih, saj lahko ustvarimo miselni vzorec in ga ohranimo v zavesti, vendar tedaj ne moremo hkrati obdržati drugega. Prav gotovo v duševnosti ne morete imeti prikazano vse naenkrat. Veliko miselnih vzorcev je medsebojno izključujočih se. Ekspliciramo en miselni vzorec ali ekspliciramo drugega, ne pa vseh hkrati, saj je "oko", ki opazuje duševnost, del duševnosti same.

Pojem implikatnega reda je namenjen temu, da ljudje z njim eksperimentirajo; ni predstavljen kot dokončna oblika, zato potrebuje veliko raziskav in razprav.

*Iz angleškega zvočnega zapisa prevedel
in opombe napisal Mitja Peruš.*

¹ *Bellova neenačba odloča o tem, kdaj so
nelokalne interakcije (interakcije na velike dal-*

jave) oziroma korelacije možne, celo tudi takšne, ki se med zelo oddaljenimi mesti zgodijo takoj, brez najmanjše časovne zakasnitve. Z drugimi besedami: pove, na kateri globlji ravni so zelo oddaljene stvari medsebojno neposredno povezane.

² Sklopitev je povezava med npr. delci, ki povzročajo medsebojno odvisnost in interakcije ali tudi npr. poenotenje v lastnostih (frekvenci ipd.).

³ Implikatni red (*implicate order*) je "kvantni svet obstoječega v možnosti". V določenih okoliščinah se iz tega "morja potencialnosti" udejanjajo določene strukture – eksplikatni red (*explicate order*).

⁴ Včasih so se ukvarjali z vprašanjem, ali je za prenos elektromagnetnega valovanja potreben nižjeležeči medij – eter. Danes velja, da etra ni in da se elektromagnetno valovanje širi skozi vakuum. Vendar pa se je danes spremenil pogled na vakuum, saj se ne smatra več za "praznino", in to na neki način obuja staro diskusijo o "etru", vendar na precej globlji ravni.

⁵ Paradoks mačke je opisan v odgovoru 18b. Pištola je uperjena v mačko, sproži pa jo lahko foton, ki se po KM lahko pojavi le z določeno verjetnostjo. Tako je tudi to, ali je mačka mrtva ali živa, določljivo samo z določeno verjetnostjo. Foton pa se po KM lahko nahaja v superponiranem ("mešanem") stanju. Ali je potemtakem lahko tudi mačka hkrati mrtva in živa?! Mi mačko vedno vidimo le mrtvo ali le živo. Ali torej, ko gledamo mačko, "kolapsiramo njeno valovno funkcijo" v eno izmed jasnih lastnih stanj?! Zmeda s hipotetično "Schrodingerjevo mačko" ostaja že desetletja.

⁶ Angl. *bootstrap* = vezalka, pentlja. "Bootstrapiranje" pomeni prepletanje v smislu, da vse implicitno (Bohm bi rekel implikatno) določa eno in hkrati eno določa vse.

⁷ Mišljeni so delci enakega velikostnega reda oziroma celo iste vrste.

⁸ Če so delci med seboj neodvisni (nekorelirani), se da mnogodelčno valovno funkcijo, ki opisuje sistem več delcev, napisati kot produkt (zmnožek) valovnih funkcij za posamezne delce. Torej neproduktna valovna funkcija pomeni, da sis-

tema več delcev ni mogoče obravnavati zgolj kot skupino posameznih delcev, ampak ima tak sistem še dodatne kolektivne lastnosti.

⁹ Ireverzibilni procesi so taki, ki se ne dajo obrniti. Pri njih entropija narašča, pri reverzibilnih pa ostaja enaka.

¹⁰ Holografija je vrsta tridimenzionalne fotografije, ki se dobi z interferenco dveh žarkov. V hologramu se shranijo medsebojni odnosi (korelacije) med različnimi zornimi koti, fizikalno pa je to zastopano v prepustnosti holograma, ki je sorazmerna s fazno razliko med žarki. Vsak del holograma implicitno (po Bohmu implikatno) nosi celotno vsebino holograma, torej "vsak del zrcali celoto". Hologram je primer implikatnega reda! Ko pa ga znova presvetimo z enim izmed prvotnih žarkov, ki je prvič nosil sliko nekega predmeta, se pojavi ustrezna tridimenzionalna slika, tudi če predmeta zdaj ni več na prvotnem mestu. Takšen priklic ene izmed slik iz holograma, v katerem je "mešanica" več slik, ustreza Bohmovi eksplikaciji (vzpostavitvi eksplikatnega reda iz implikatnega). To je podobno "kolapsu valovne funkcije" in priklicu spominskega vzorca iz nevronske mreže.

¹¹ Fermioni so delci s polštevilskim spinom, bozoni pa delci s celoštevilskim spinom... Detajle o fiziki delcev naj bralec poišče v poljudni knjigi J. Strnada *Iz take so snovi kot sanje. Od atomov do kvarkov*, Ljubljana, MK, 1988.

¹² Fazne spremembe so globalni prehodi iz enega (agregatnega) stanja v drugega (npr. vretje vode).

¹³ Tukaj gre za analogijo med dvema procesoma, ki sicer nastopata na velikostno zelo različnih ravneh, vendar je sistemska dinamika zelo podobna. Za rekonstrukcijo nekega vzorca v nevronski mreži je potrebna določena kritična količina ("kritična masa") nevronov, ki potrjujejo oziroma podpirajo ta vzorec. Podobno tudi v Penroseovi teoriji gravitacije (ki jo upravlja tudi za ugibanja o možganskih procesih) o nastanku gravitona (nekakšnega "kondenzata" gravitacijskega polja oziroma energije) potrebujemo določeno količino energije.

¹⁴ Superprevodnost pomeni, da za električne tokove ni nobene upornosti, superfluidnost pa,

da za tokove tekočin ni viskoznosti. Oba izhajata iz koherentnih pojavov (stanj, kjer delci nastopajo korelirano oziroma so ujeti v kolektivno enotno dinamiko).

¹⁵ Zgodi se, da v kako snov zamešamo kapljice črnila in dobimo rahlo počrnjeno homogeno zmes. Če nato mešamo v enaki meri v nasprotno smer, se začetne pege črnila obnovijo. Homogena zmes je primer implikatnega reda – strukture, ki lahko ob povratku začetnih okoliščin rekonstruira takratno stanje – eksplikatni red. Implikatni red je torej struktura, ki potencialno (kot možnost) nosi v sebi tudi mnoge eksplikatne rede. Ti ob pravem povodu ali ustreznih okoliščinah izstopijo iz implikatne polivalentne celote, v kateri se nam zdi, da ni ničesar.

¹⁶ Neurotransmiterji so kemični prenašalci živčnih signalov v sinaptičnih stikih, ki vežejo izrastke dveh nevronov (živčnih celic). Sistem sinaptičnih vezi predstavlja spomin. Dendriti so izrastki nevrone, ki imajo podobno funkcijo seštevavanja signalov kot nevron sam. Ta Hileyjev stavek namiguje na to, da se matematično-informacijski principi obdelovanja in pomnjenja informacij (ki so danes že kar dobro znani) lahko izvajajo na različnih ravneh in v različnih fiziološko-fizikalnih medijih, ni pa jasno, kateri konkretni miselni procesi so kodirani v katerih konkretnih fizikalnih procesih. Kandidati za kognitivno procesiranje so poleg nevronskih mrež in kvantnih sistemov tudi razne strukture znotraj celic (citoskeleton, posebej mikrotubuli), sistemi samoorganizirajočih se električnih dipolov, razna koherentna stanja (Froelichova) itd. Tem različnim kompleksnim sistemom pa je sistemska dinamika, ki je informacijsko pomembna, precej podobna.