

KVANTNA ISPREPLETENOST I SUPERLUMINALNA KOMUNIKACIJA

Nikola Tomašević

Mentor: doc. dr. sc. Hrvoje Nikolić

30. siječnja 2015.

SAŽETAK

Kao što je dobro poznato, nelokalne kvantne korelacije se ne mogu koristiti za superluminalnu komunikaciju. Međutim, u vidu FW ("Free Will") teorije, ova problematika dobiva novu dimenziju. U ovome radu ćemo prvo detaljno opisati i pokušati razriješiti samu problematiku FW teorije, te paradokse koji iz nje proizlaze, pa ćemo zatim pogledati kako se dobiveni rezultati odražavaju na specijalnu teoriju relativnosti.

I. UVOD

Slobodna volja¹, kako je normalno shvaćamo u svakodnevnom životu, jest moć pojedinca da čini vlastite odabire. Naš pogled na svijeto implicitno podrazumijeva da je ljudsko ponašanje pod kontrolom FW. U novije vrijeme su različiti fizičari proučavali FW u kontekstu fundacija kvantne mehanike, konkretno, u odnosu prema ne-klasičnim pojavama kao što su indeterminizam, kvantna isprepletenost, ne-realizam i kontekstualnost [1-9].

Determinizam znači da prošlost univerzuma potpuno određuje budućnost sustava, ne ostavljajući mogućnost da FW utječe na nju. Stoga, osim ako se ne pretpostavi da je FW

¹ eng. *free will* – odsada pa nadalje ćemo za pojam slobodne volje koristiti kraticu FW.

iluzorna, deterministički fizikalni zakoni su logički inkompatibilni sa djelovanjem FW. Nasumičnost također ne pogoduje FW. Evolucija je nasumična ako su fizikalni zakoni indeterministički, te u tom slučaju prošlost univerzuma ne određuje u potpunosti buduću evoluciju sustava. Unatoč tome, ova "sloboda" je upravljana nekim vjerojatnosnim pravilom, kao npr. Bornovim pravilom u kvantnoj mehanici. Ipak, čak i u slučaju da ne postoji pravilo koje bi nam omogućilo odabir jedne od mnogih mogućih alternativa, i dalje bismo očekivali nekakvo "demokratsko" pravilo po kojemu su sve alternative jednako vjerojatno, odnosno odgovarajući uzorak šuma. Frekvencije ishoda bi tada bile ograničene Zakonom velikih brojeva primjenjenim na relevantno pravilo. Ovo bi pak isključilo mogućnost potpune kontrole, a stoga i mogućnost FW kako je normalno shvaćamo. Prema tome, "free" (ili "nasumični") aspekt FW stoji u sukobu sa "will" (ili "kontrola"), čineći prema tome izraz "free will" oksimoronom. Ovo nazivamo slabim FW paradoksom (WFWP).

WFWP u svojoj biti kaže da ukoliko aksiomatski prihvatimo FW, tada FW ne može koegzistirati niti sa determinizmom niti sa nasumičnošću u fizikalnoj stvarnosti. Jaka verzija FW paradoksa (SFWP) postavlja pitanje da li, u tom vidu, FW uopće postoji odnosno da li ju se uopće može definirati. Možemo razmotriti sljedeći primjer: recimo da imamo neku veličinu x (položaj nečije ruke). Tvrdimo da je veličina x pod kontrolom FW. U tom slučaju možemo pisati $x = x(w)$, gdje je w 'varijabla namjere'. Kako bismo osigurali da x ne postane deterministička varijabla, zahtijevamo da je w slobodna varijabla te da nije determinirana prošlošću univerzuma. Iz ovoga pak slijedi da je w , pa prema tome i x , slučajna varijabla. Prema tome moramo pretpostaviti da je sama w , kao i x , određena drugim varijablama 'niže razine'. Vidimo da bismo ovaj argument mogli koristiti i za varijable niže razine i tako unedogled. SFWP nam u konačnici govori da FW, uz pretpostavku da ona postoji, moramo tražiti u području između nasumičnosti i determinizma. Ovaj pristup je temelj ovoga rada, te ćemo ga u idućem poglavlju učiniti rigoroznim.

II. PARADOKS SLOBODNE VOLJE I POSLJEDICE

FWP se ne pojavljuje ako se pretpostavi da je FW iluzorna, te da su odabiri učinjeni deterministički u podsvijesti i stavljani u svjesni um koji nije svjestan da mu nedostaje prava sloboda izbora [5, 6]. Za naše potrebe, pod "FW" ćemo uvijek podrazumijevati pravu, a ne iluzornu FW, osim ako drugačije nije izričito navedeno. Još jedno moguće rješenje WFWP [7] jest da, iako u skladu sa traženom raspodjelom vjerojatnosti, FW ima sposobnost da promijeni *poredak* ishoda. Ovo bi zahtijevalo slobodno-voljne ishode, koji bi se u konačnici morali kompenzirati nekontroliranim ishodima u kasnijim vremenima kako bi se sačuvao sklad sa raspodjelom vjerojatnosti.

Naš prijedlog ideje rješenja FWP se temelji na uvidu Tarskog, za rješenje *paradoksa lažljivca* [10]. Paradoks lažljivca, koji samoreferentno izjavljuje *ova izjava je lažna* je nekonzistentan, budući da je izjava istinita ako i samo ako je lažna. Kako bismo mogli izbjeći ovaj paradoks, moramo razlikovati jezik diskusije (koji nazivamo *objektni jezik* L^0), od meta-jezika (L^1), u kojemu govorimo o L^0 . Semantička istina izjava učinjenih u jeziku L^0 ne može se konzistentno tvrditi u L^0 , nego u L^1 . Nemogućnost razlikovanja između ovih dvaju jezika vodi do paradoksa lažljivca.

Na analogni način, uvodimo temeljnu ili nultu razinu fizikalne stvarnosti, koju nazivamo *objektivna stvarnost*, te ju označavamo sa \mathbf{R}^0 . Na ovoj razini standardni zakoni kvantne mehanike upravljaju fizikalnim ili *objektivnim* varijablama kao što su položaj i impuls čestica. Ova razina stvarnosti se razlikuje od meta-razine, ili prve razine stvarnosti, koja se zove *subjektivna stvarnost* i označava sa \mathbf{R}^1 . Na ovoj razini neki drugi zakoni Prirode upravljaju određenim *subjektivnim* veličinama i varijablama, kao što su FW, emocije i misli svjesnih bića, itd..

Bilokakav postupak koji kao rezultat daje *objektivni* rezultat (odnosno rezultat koji se može opisati jezikom standardne kvantne fizike) možemo nazvati objektivno-vrijednosnim (OV) postupkom. Takvi su postupci, npr., eksperimentator koji namješta postavke detektora, ili kompjuter koji ispisuje očitavanje. Sada smo u mogućnosti konzistentno okarakterizirati FW na objektivnoj razini, i to na sljedeći način. OV djelovanje nazivamo slobodno-voljnim ako (a) ono nije potpuno određeno *objektivnom* prošlošću univerzuma, i (b) ono eksplicitno ovisi o nekim *subjektivnim* varijablama.

Uvjet (a) implicira da je ishod djelovanja nasumičan na objektivnoj razini, odnosno \mathbf{R}^0 -nasumičan. Uvjet (b) ostavlja prostora za subjektivni utjecaj/kontrolu djelovanja. Stoga možemo reći da FW istovremeno i konzistentno ima i slobodu i kontrolu, ako uočimo da je sloboda s obzirom na \mathbf{R}^0 , dok je kontrola s obzirom na \mathbf{R}^1 . Razlikovanje između subjektivne i objektivne stvarnosti je, na ovaj način, ključ rješenja WFWP, te naglašava činjenicu da djelovanje FW na \mathbf{R}^0 razini nije moguće definirati unutar standardne kvantne mehanike, koja je jezik \mathbf{R}^0 .

Za naše sadašnje potrebe, fizičku česticu možemo shvatiti kao čisto objektivni entitet, koji prebiva u \mathbf{R}^0 ; naprotiv, ljudsko biće, kao npr. opažач koji mjeri polarizaciju fotona, je subjektivno-objektivni entitet. Konkretno, on/ona je karakteriziran subjektivnim stupnjevima slobode (specificirajuće misli, osjećaji i FW) koji se dinamički vežu na neki zasada nepoznati način na određene objektivne stupnjeve slobode u mozgu. U suglasnosti sa terminologijom Kartezijanskog dualizma, subjektivnu komponentu nazivamo njegov/njezin *um*, a objektivnu komponentu njegovim/njezinim *tijelom* [11]. Ono što smo mi nazvali 'objektivnim' i 'subjektivnim', se tradicionalno u klasičnoj metafizici naziva 'fizičko' i 'ne-fizičko', respektivno.

U smislu onoga što je dosad navedeno, čestica nema um. 'FW' čestice može zadovoljiti samo uvjet (a), ali ne i (b). Čestica ima slobodu ali ne kontrolu. FW čestice je naprosto čista nasumičnost. Prema tome, FWP se ne pojavljuje u slučaju čestica. U svrhu normalizacije terminologije ovu konkretnu FW možemo nazvati FW *nultog reda* (sloboda nultog reda bez kontrole), za razliku od ljudske FW, koja zadovoljava i uvjete (a) i (b), te ćemo ju stoga od sada nazivati FW *prvog reda* (kontrola prvog reda nad slobodom nultog reda). Entitet sa FW prvog reda nužno posjeduje i FW nultog reda, budući da može odabrati hoće li ili neće pokrenuti kvantni nasumični proces (npr. mjerenje σ_x na qbitu pripremljenom u eigenstanju σ_z) kao podrutinu. Kako bismo izbjegli repetitivnost, u ostatku rada ćemo ponekad ispustiti kvalifikacije 'prvog reda' ili 'nultog reda', kada kontekst jasno daje do znanja na koju se FW misli.

Sada nam preostaje shvatiti kako mehanizam FW prvoga reda utječe na objektivne stupnjeve slobode u fizičkoj stvarnosti. Ovo će također automatski doprinijeti rješenju problema uma i tijela koji se javlja u dualizmu, a to je odsustvo empirijski uočljive dodirne točke uma i tijela. Ono što ovdje treba uočiti jest činjenica da će vjerojatnosni zakoni koji upravljaju \mathbf{R}^0 općenito biti kompatibilni sa FW samo ako je svojstvo kontrole u (b) odsutno. Ovo implicira da će FW prvoga reda, koja uključuje (b), biti vezana na objektivne stupnjeve slobode tako što će *uzrokovati odstupanja od inače-očekivanih objektivnih raspodjela vjerojatnosti*.

Ovo možemo ilustrirati na sljedeći način: neka je X OV nasumična varijabla sa nekom raspodjelom vjerojatnosti P , te neka je ona pod utjecajem FW. Ako imamo nekakvu sekvencu n izbačaja varijable X , danu oblikom $\underline{X} \equiv X_1 X_2, \dots, X_n$, takvu da je vjerojatnost pojavljivanja $P(\underline{X}) > 0$, tada FW može nametnuti ishod \underline{X} bez logičke kontradikcije. Odnosno, FW može ostvariti bilokakvu evolucijsku granu koju dopuštaju indeterministička evolucijska pravila sustava, ali ne može ostvariti nijednu koju pravila ne dopuštaju. Kontrolirajući evoluciju tako da bude unutar prostora dozvoljenih grana, FW nije u direktnoj suprotnosti sa pravilom koje specificira raspodjela vjerojatnosti P , iako će se nakon dovoljno dugo vremena takve FW-inducirane intervencije manifestirati kao odstupanje od P . Ovaj odnos između FW i P , pri čemu su FW intervencije u suprotnosti sa P sa statističkog, ali ne i logičkog aspekta, nazivamo *slaba kompatibilnost* FW i P .

Specifično, ako je X nasumična varijabla koja odgovara FW-induciranom kvantnom mjerenju M sustava S , tada X može odstupati od Bornovog pravila vjerojatnosti (u poglavlju III ćemo pokazati da ovo pravilo, pod određenim razumnim pretpostavkama, predstavlja pravu slobodu čestica). Npr., ako je S qutrit (trorazinski kvantni sustav) u stanju $|\Psi\rangle \equiv \cos\theta|0\rangle + \sin\theta|1\rangle + 0|2\rangle$, onda FW može kontrolirati ili usmjeriti kolaps $|\Psi\rangle$,

uslijed mjerenja M , tako da on daje $|0\rangle$ ili $|1\rangle$ sa sigurnošću, ili, u svakom slučaju, sa vjerojatnostima koje su drugačije od standardnih Bornovih vjerojatnosti $\cos^2 \theta$ i $\sin^2 \theta$, respektivno. No, zbog prethodno spomenute slabe kompatibilnosti između FW i P, ishod $|2\rangle$ je zabranjen. FW će se prema tome manifestirati kao *statistička odstupanja od Bornovog pravila* preko dopuštenih ishoda. Naprotiv, FW nultoga reda, koja je čista kvantna nasumičnost, je u skladu sa Bornovim pravilom nakon dugog niza mjerenja.

Sa objektivnog stanovišta, valna funkcija je *neopipljiva*, odnosno, njome se ne može manipulirati na načine koji ovise o njenoj vrijednosti. Npr., amplituda ne može naglo biti postavljena na nulu. Matematički govoreći, ta činjenica čini kvantnu mehaniku linearnom teorijom. Naprotiv, FW-usmjereni kolaps je nelinearni fenomen. To čini valnu funkciju subjektivno *opipljivom*, što se manifestira kontrolom koju FW ima nad njom.

FW možemo pokušati shvatiti kao subjektivnu kontrolu koju neki opažatelj ima nad kolapsom određenih subneuronskih superpozicijskih stanja u mozgu, pod posebnim uvjetima koji su tamo dostupni. Također se pretpostavlja da ovi uvjeti određuju specifičnu bazu kolapsa. Subjektivni stupnjevi slobode (koji karakteriziraju volju, misli, itd.) se vežu dinamički na neki za sada nepoznat način na objektivne stupnjeve slobode (koji se tiču neurona deterministički povezanih sa raznim voljnim tjelesnim funkcijama) kroz ovo sučelje uma i tijela. Napominjemo da je, iako je djelovanje FW svjesno, mehanizam kojim FW kontrolira redukciju vektora stanja, te njihovo daljnje determinističko pojačavanje do makroskopskih klasičnih djelovanja, na podsvjesnoj razini.

Naći ćemo pogodnim, slijedeći praksu u Vedskoj filozofiji, da identificiramo *um* kao subjektivni dio moždanih područja koja odgovaraju emocijama, memoriji i FW, te da identificiramo *intelekt* kao subjektivnu komponentu racionalne i determinativne sposobnosti mozga. Model djelovanja slobodne volje koji predlažemo jest sljedeći trostupanjski proces:

Stupanj 1 – Pažnja (Attention). Suročeni sa situacijom koja zahtijeva da se napravi izbor među mnogih različitim alternativama j , mozak trenutno stvara subneuronsku kvantnu superpoziciju $|\Psi_\alpha\rangle = \sum_j \alpha_j |j\rangle$, koja je predstavljena umu. (Ova ideja je temeljena na ideji predstavljenoj u [12] – moždane mikrotubule mogu biti sjedišta takvih superpozicija). Koeficijenti α_j od $|\Psi_\alpha\rangle$ mogu odražavati određene prioritete određene mozgom.

Stupanj 2 – Izbor (Selection). Um prenosi kvantnu informaciju $|\Psi_\alpha\rangle$ intelektu. Intelekt izvrjednjuje alternative j po nekakvoj normi (emocionalnoj, socijalnoj, itd.), birajući onu

najoptimalniju, J , među njima. Ako norma ne omogućava odabir jedne od alternativa, moguć je nasumičan odabir (pozivajući se na podrutinu živčane FW prvog reda). Činjenica da izbor može biti pod utjecajem, ali nije determiniran, amplitudama superpozicije, je u ishodištu odstupanja od Bornovog pravila. Intelekt predaje odabir J umu.

Stupanj 3 – Kolaps (Collapse). Um koristi FW da usmjeri kvantno stanje $|\Psi_\alpha\rangle$ da kolabira kvantnu superpoziciju u stanje $|J\rangle$ koje odgovara odabranoj alternativni.

Ovaj model možemo nazvati "ASC" ("Attention-Selection-Collapse") modelom. Budući da izbor u Stupnju 2 nije u skladu sa Bornovim pravilom, Stupanj 3 će općenito uzrokovati narušenje zakona sačuvanja energije: mjerenje opisano projekcijskim operatorima M_j neselektivno transformira operator gustoće ρ kao $\rho \rightarrow \rho' \equiv \sum_j M_j \rho M_j^\dagger$, uz pretpostavku Bornovog ili pravila traga za vjerojatnost. Ova transformaciju čuva energiju, odnosno, $Tr(H) = Tr(H\rho')$ ako operator mjerenja $M_o \equiv \sum_j m_j M_j^\dagger M_j$ komutira sa Hamiltonijanom sustava H . Ovo je slučaj kod kvantnih non-demolition (QND) mjerenja [13], ali općenito nije istinit, ako je interakcija disipativna i energija se izmjenjuje sa okolinom [16].

Čak i ako pretpostavimo da je baza u kojoj se događa FW-inducirani kolaps energijska baza te stoga komutira sa H , odstupanje od Bornovog pravila implicira da općenito, u prosjeku, energija neće biti očuvana. No ovo nije ništa što bi nas trebalo zabrinuti, budući da se u ovakvom slučaju narušenje sačuvanja energije odvija u malenom substaničnom području unutar mozga, gdje je teško razlučivo od pogrešaka mjerenja i okolnog živčanog šuma.

III. IMPLIKACIJE NA TEOREM O SLOBODNOJ VOLJI

Zeilinger napominje da postoje dvije "slobode": jedna koja se tiče Prirode, i druga koja se tiče eksperimentalnog opažača [14]. FW teorem (FWT) [1], koji je u svojoj biti dokaz nelokalnosti bilokojne teorije koja tvrdi da je u stanju reproducirati kvantne korelacije, kaže da ako opažači posjeduju FW, onda je posjeduju i opažane čestice. Sada ćemo dati kratak pregled FWT, temeljen na testu kvantne nelokalnosti kako je dano u [15].

S_1	(0,0,0,1)	(0,0,1,0)	(1,1,0,0)	(1,-1,0,0)
S_2	(0,0,0,1)	(0,1,0,0)	(1,0,1,0)	(1,0,-1,0)
S_3	(1,-1,1,-1)	(1,-1,-1,1)	(1,1,0,0)	(0,0,1,1)
S_4	(1,-1,1,-1)	(1,1,1,1)	(1,0,-1,0)	(0,1,0,-1)
S_5	(0,0,1,0)	(0,1,0,0)	(1,0,0,1)	(1,0,0,-1)
S_6	(1,-1,-1,1)	(1,1,1,1)	(1,0,0,-1)	(0,1,-1,0)
S_7	(1,1,-1,1)	(1,1,1,-1)	(1,-1,0,0)	(0,0,1,1)
S_8	(1,1,-1,1)	(-1,1,1,1)	(1,0,1,0)	(0,1,0,-1)
S_9	(1,1,1,-1)	(-1,1,1,1)	(1,0,0,1)	(0,1,-1,0)

Tablica I. Popis 9 opservabli koje Alice može mjeriti, od 18 mogućih smjerova.

Promotrimo 9 ortogonalnih baza u Hilbertovom prostoru dimenzije 4, i označimo ih sa S_1, S_2, \dots, S_9 . Svaki S_j je skup 4 ortogonalna vektora, koji predstavljaju smjerove postavki detektora, te ih pišemo u nenormaliziranoj, 'retčanoj' reprezentaciji kao

$$(1,0,0,0), (1,-1,0,0) \equiv \frac{1}{\sqrt{2}} ((1,0,0,0) - (0,1,0,0)), \text{ itd.}$$

Mjerenje S_j na stanju koje nije eigenstanje od S_j , će, u skladu sa Bornovim pravilom, kolabirati u nasumični ishod. Ova nasumičnost sama po sebi ne implicira slobodu čestice. Mjerenje samo *nalazi* ishod nasumičnim. Moguće je da su nepoznati uzroci iz prošlosti učinili ishod determiniranim, prije mjerenja, dok je nasumičnost samo artefakt našeg neznanja tih uzroka. Kochen-Speckerov teorem [16] kaže da bilokakvi od tih determiniranih rasporeda ishoda ne mogu postojati neovisno o kontekstu (u našem slučaju bazama S_j).

Ovaj teorem možemo dokazati na sljedeći način: neka determinirani raspored postoji za svaki vektor koji se pojavljuje u Tablici I. Prema tome, u svakom retku Tablice I, točno jedan od četiri vektora će imati dodijeljenu vrijednost jednaku 1, a ostala tri 0. Jednaka vrijednost (0 ili 1) će biti dodijeljena svakom pojavljivanju vektora, npr. vektor (1000) ima jednaku dodijeljenu vrijednost i u S_1 i u S_2 . No, pažljivim promatranjem Tablice I može se uočiti da takva shema rasporeda ne postoji. Naime, zbroj dodijeljenih vrijednosti duž svakog retka jednak je 1, dajući ukupno 9 kada se zbroj izvrši duž cijele tablice. No, tada se svaki vektor pojavljuje točno dva puta, kada se u obzir uzmu svi retci zajedno. Prema tome, zbroj

dodijeljenih vrijednosti svim vektorima bi trebao biti paran broj. Ova kontradikcija implicira da ne postoji determinirano dodjeljivanje vrijednosti vektorima, osim u slučaju kada ovise o kontekstu. Ovo znači da dva pojavljivanja istog vektora, npr., $(1,0,0,0)$, koji se pojavljuje u S_1 i S_2 , ne moraju imati istu dodijeljenu vrijednost. Ova nemogućnost predodijeljivanja vrijednosti znači ili to da čestice imaju slobodu, ili da su njihove vrijednosti predeterminirane na način koji ovisi o kontekstu.

Stoga, kako bismo pokazali da čestice imaju slobodu, trebamo stvoriti situaciju u kojoj informacija o kontekstu neće biti dostupna tijekom mjerenja. U tu svrhu možemo zamisliti da postoje dvije osobe, Alice i Bob, koje dijele isprepletano stanje oblika:

$$|\Psi_J\rangle = \frac{1}{2} \sum_k |S_J^{(k)}\rangle_A |S_J^{(k)}\rangle_B, (J = 1, \dots, 9). \quad (1)$$

Može se pokazati da je ovaj oblik sačuvan u bilokoj od gornjih baza, odnosno, da je $|\Psi_1\rangle = |\Psi_2\rangle = \dots = |\Psi_9\rangle$. Ova činjenica osigurava da će, ako Alice i Bob mjere u istoj bazi S_j , doći do istog ishoda k . Alice nasumično mjeri jednu od 9 baza, S_j , koja će u našem slučaju poslužiti kao kontekst. Označimo sa $|k'\rangle$ ishod mjerenja kojemu ona dodijeljuje vrijednost 1, i 0 ostalim elementima S_j . Bob nezavisno i nasumično odabire jedan od 18 vektora k koji se pojavljuju u Tablici I, i mjeri binarnu opservablu $|k\rangle\langle k| - (\mathbf{I} - |k\rangle\langle k|)$. On dodijeljuje vektoru $|k\rangle$ vrijednost 1, odnosno 0, ovisno o tome da li detektira to stanje ili ne. Kvantna mehanika jamči da će, ukoliko se Bobov vektor nalazi u kontekstu baze S_j , i Alice i Bob dodijeliti vektoru $|k\rangle$ jednaku vrijednost 0 (u slučaju da se vektor $|k\rangle$ ne detektira), odnosno 1 (u slučaju detekcije). Ako pokušamo objasniti ovu pojavu u terminima prethodne dodjele vrijednosti, Alice bi trebala biti u stanju priopćiti informaciju svog konteksta j Bobu. Osiguravanjem da su i Alice-ino i Bob-ovo mjerenje dovoljno blizu u vremenu, možemo isključiti bilokakvu komunikaciju konteksta koja se događa konačnom brzinom. Ukoliko se pretpostavi relativistička invarijantnost (iako ovo nije nužno), onda njihovi događaji mjerenja moraju biti prostorno odvojeni.

Do sada smo implicitno pretpostavili da su opažači slobodno i nasumično odabrali postavke svojih detektora. I dalje je moguće da ne postoji sloboda čestica, uz uvjet da su eksperimentalne postavke i ishodi predeterminirani na takav način da sugeriraju korelaciju koja je jača od klasične, te da je FW eksperimentatora iluzija. Prema tome, ako pretpostavimo

da eksperimentatori posjeduju pravu FW, onda su svi putevi pripisivanja determiniranih vrijednosti Alice-inog i Bob-ovog ishoda mjerenja (bez obzira što su nepoznati uzroci) isključeni, te se moraju smatrati pravim činovima stvaranja ili FW od strane čestica/Prirode.

IV. IMPLIKACIJE ZA SPECIJALNU RELATIVNOST

U višedjelnom kvantnom sustavu, bilokakva kvantna operacija koja se primijeni lokalno na jedan dio sustava ne utječe na reducirani operator gustoće preostalog dijela sustava. Ovaj fundamentalan *no-go* rezultat, koji se naziva "no-signalling" teorem, implicira da kvantna isprepletenost ne dopušta nelokalnu ("superluminalnu") signalizaciju pod standardnim operacijama, te da je stoga konzistentna sa specijalnom relativnošću. Međutim, ova koegzistencija kvantne nelokalnosti i relativnosti je upitna [9], zbog narušenja nejednakosti Bellovoga tipa [17], ali ne implicira otvoreno prostorni utjecaj. Upotrebljiva informacija uvijek zahtijeva prijenos materijalnog objekta te se stoga ne može priopćiti izvan svjetlosnog stošca, u skladu sa teorijom relativnosti.

Dvosmislenost između pitanja da li je ovakva prostorna signalizacija stvarna ili ne, bila bi razbijena, i superluminalna komunikacija postala bi moguća, u slučaju kada bi se ishodi mjerenja mogli nametnuti superpozicijama, kršeći pri tom Bornovo pravilo [18]. Npr., ako

Alice i Bob dijele isprepleteno stanje $\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$, i ako je Alice u stanju pomoću FW

deterministički kolabirati svoj qubit u $|0\rangle$ ili $|1\rangle$, tada je ona u mogućnosti kontrolirati da li će Bob-ov qubit ostaviti u stanju $|0\rangle$ ili $|1\rangle$, te je prema tome ona u mogućnosti superluminalno signalizirati Bobu 1 bit. Ovo je moguće i u slučaju ako Alice ima samo djelomičnu kontrolu nad kolapsom, sve dok postoji odstupanje od Bornovog pravila [18].

Brzina signalizacije koja se na ovaj način može postići je donja granica brzine kojom bi superluminalni signal trebao putovati kako bi objasnio narušenje nejednakosti Bellovoga tipa [17]. U trenutno dostupnim eksperimentalnim procjenama, ova brzina je barem reda veličine $10^4 c$ [19].

Stoga, ako prihvatimo realnost FW, te FW-induciranog kolapsa, relativnost se mora smatrati kao približni opis koji je primjeren samo *objektivnoj stvarnosti*, dok se očito odsustvo superluminalnih signala može pripisati nedostatku kvantnih superpozicija na makroskali, s kojima se subjektivne varijable mogu sučeljivati. Sa stanovišta subjektivne (više) stvarnosti, realnost, prostor, vrijeme i uzročnost uzimaju se kao apsolutne. Subjektivne veličine kao FW prvoga reda i stanja uma (emocije i namjere) ne ovise o referentnom sustavu.

Možemo još razmotriti eksperiment Bellovoga tipa, u kojemu se proučava par isprepletenih čestica, gdje dva opažača, Alice i Bob, slobodno i nezavisno mjere svoju respektivnu česticu u prostorno-odvojenim intervalima. Nadalje, neka se Alice i Bob gibaju relativno jedno naspram drugoga, na takav način da svatko od njih smatra njegovo/njezino mjerenje prvim [20]. Objašnjenje narušenja nejednakosti Bellovoga tipa u terminima superluminalnog signala koji putuje od događaja mjerenja jednog opažača do događaja mjerenja drugoga je neodrživo u relativističkom kauzalnom opisu, zbog neusporedivog vremenskog poretka događaja. U našem formalizmu, budući da je subjektivno, apsolutno stanovište ono koje uzimamo kao pravu sliku, a objektivno, relativističko stanovište kao približnu sliku, pozivanje na superluminalni utjecaj da objasni kvantne korelacije ne predstavlja logičku kontradikciju. Jedno od Alice ili Bob će biti prva osoba koja je izvršila mjerenja i stvorila superluminalni signal, iako ova činjenica ne čini razliku opažaču koji interpretira njihove kvantne korelacije unutar relativističkog okvira.

V. ZAKLJUČAK

Novi uvid koji se pojavljuje u ovom radu jest taj da je FW, i još općenitije, svijest, nešto podložno kvantitativnoj analizi na način koji je opet u skladu sa intuitivnim i filozofskim pristupom ovim pitanjima. Ovaj rad također pokazuje da proučavanje izvora i postojanja FW, osim što ima direktne implikacije na specijalnu teoriju relativnosti, pa tako i mogućnost superluminalne komunikacije, ima i posljedice koje su važne, te daje u konačnici i nove smjerove istraživanja, za područja kao što su fizika općenito, filozofija, matematička logika, statistika, te naposljetku i neuroznanost, a i informatika.

ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Hrvoju Nikoliću za svu pomoć pruženu prilikom izrade ovoga rada, od samoga prijedloga teme, do brojnih konstruktivnih razgovora i kritika.

BIBLIOGRAFIJA

- [1] J. Conway, S. Kochen. The Free Will Theorem. *Found. Phys.* 36 1441 (2006).
J. Conway, S. Kochen. The Strong Free Will Theorem. *Amer. Math. Soc.* 56, 2 (2008); arXiv:0807.3286.
- [2] H. Stapp. Quantum theory and the role of mind in nature. *quant-ph/0805.0116*

- [3] A. Bassi and G. C. Ghirardi. The Conway-Kochen argument and relativistic GRW models. *Found. Phys.* 37, 169 (2007).
- [4] S. Goldstein, D. V. Tausk, R. Tumulka, N. Zanghi. What Does The Free Will Theorem Actually Prove? arXiv:0905.4641
- [5] G. 't Hooft. The Free-Will Postulate in Quantum Mechanics. quant-ph/0701097
- [6] H. Nikolić. Closed timelike curves, superluminal signals, and "free will" in universal quantum mechanics. arXiv:1006.0338
- [7] A. Suarez. Quantum randomness can be controlled by free will- a consequence of the before-before experiment. arXiv:0804.0871
- [8] V. Vedral. Is the universe deterministic? *New Scientist*, 18 November 2006, p. 55
- [9] N. Gisin. The Free Will Theorem, Stochastic Quantum Dynamics and True Becoming in Relativistic Quantum Physics. arXiv:1002.1392.
- [10] A. Tarski. On the concept of truth in formal languages. *Philosophy and Phenomenological Research* 4 (1944); <http://www.ditext.com/tarski/tarski.html>
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Mind-body_problem
- [12] S. Hameroff, R. Penrose. Orchestrated Objective Reduction of Quantum Coherence in Brain Microtubules: The "Orch OR" Model for Consciousness. <http://www.quantumconsciousness.org/penrose-hameroff/orchor.html>
- [13] R. Srikanth, S. Banerjee. An environment-mediated quantum deleter. *Phys. Lett. A* 397, 295 (2007); quant-ph/0611263.
- [14] A. Zeilinger. Interview, *Die Weltwoche*, Ausgabe 48/05 signandsight.com/features/614.html
- [15] G. Kar. Two theorems of Jhon Bell and Communication Complexity. quant-ph/0504191.
- [16] S. Kochen, E. P. Specker *J. Math. Mech.* 18, 59 (1967).
- [17] M. Nielsen, I. Chuang. *Quantum computation and quantum information* (Cambridge 2000).
- [18] R. Srikanth. Entanglement, intractability and no-signaling. *Physica Scripta* 81 (2010) 065002.
- [19] V. Scarani, W. Tittel, H. Zbinden, N. Gisin. The speed of quantum information and the preferred frame: analysis of experimental data *Phys. Lett. A* 276 1 (2000); quant-ph/0007008
D. Salart et al. Testing spooky action at a distance. *Nature* 454, 861 (2008); arXiv:0808.3316
B. Cocciaro, S. Faetti and L. Fronzoni. A lower bound for the velocity of quantum communications in the preferred frame. *Phys. Lett. A*, in press 2010, arXiv:1006.2697
- [20] A. Suarez. Time and nonlocal realism: Consequences of the before-before experiment. arXiv:0708.1997v1.

