

**Radmila Jovanović Kozlowski**

*FUNKCIONALISTIČKO OBJAŠNJENJE PROSTOR-VREMENA<sup>1</sup>*

*APSTRAKT: U savremenoj fizici, sa pojavom teorije relativiteta i kvantne mehanike, kao i u novijim teorijama kvantne gravitacije, pojavljuju se najrazličitije strukture prostor-vremena, što čini objašnjenje pojma prostor-vremena pravim izazovom. Jedno novije predloženo rešenje jeste funkcionalističko, sa geslom «prostor-vreme jeste ono što prostor-vreme radi». Ideja je da su fizičko polje ili neki objekat prostorno-vremenski zahvaljujući tome što igraju određenu ulogu u teoriji. Različiti istraživački programi koji se bave kvantnom gravitacijom rađaju nove dileme vezane za ove pojmove - pojavljuje se mogućnost da se prostor i vreme uopšte ne jave kao deo fundamentalne ontologije teorije. Funkcionalizam može da odgovori na ove izazove. Ovo objašnjenje prostor-vremena takođe može da baci novo svetlo na stare filozofske rasprave, poput one između supstantivista i relacionista ili realista i anti-realista.*

*KLJUČNE REČI: funkcionalizam, prostor-vreme, supstantivizam, relacionizam, kvantna gravitacija*

Prostor i vreme nalaze se među onim zagonetnim filozofskim pojmovima koji su neiscrpn izvor rasprava u okviru metafizike, matematike i filozofije nauke. Pitanje o prirodi i ontološkom statusu ovih entiteta jeste utoliko značajnije što oni predstavljaju nezaobilazni momenat unutar fizičkih teorija. U prerelativističkoj fizici pojmovi prostora i vremena bili su tretirani odvojeno, ali i tada su se vodile diskusije o njihovoj prirodi i načinu postojanja. Sa pojavom teorije relativiteta i kvantne mehanike, kao i u novijim teorijama kvantne gravitacije, situacija se dodatno komplikuje: pojavljuju se najrazličitije strukture prostor-vremena, što čini objašnjenje značenja ovog pojma pravim izazovom. Jedno novije predloženo rešenje jeste funkcionalizam po pitanju prostor-vremena, sa geslom “prostor-vreme jeste ono što prostor-vreme radi”. Ideja je da su fizičko polje ili neki objekat prostorno-vremenski zahvaljujući tome što igraju

---

<sup>1</sup> Ovaj rad je predstavljen na konferenciji “Razlozi, uzroci i objašnjenja“, održanoj 29-30 novembra 2018. godine na Filozofskom fakultetu u Beogradu.

određenu ulogu u teoriji. Razvoj fizičkih teorija, i naročito različiti istraživački programi koji se bave kvantnom gravitacijom, rađaju nove dileme vezane za ove pojmove - pojavljuje se mogućnost da se prostor i vreme uopšte ne jave kao deo fundamentalne ontologije teorije. Funkcionalizam može da odgovori na ove izazove, to je pristup koji može da se kombinuje sa emergentizmom. Funkcionalističko objašnjenje prostor-vremena takođe može da baci novo svetlo na stare filozofske rasprave, poput one između supstantivista i relacionista ili realista i anti-realista.

Prvi deo teksta biće posvećen kratkoj istoriji pojmova prostora i vremena. Zatim ću izložiti neke formulacije funkcionalizma i ukazati na moguće problema. U zaključku ću ukratko razmotriti odnos između strukturalizma i funkcionalizma i sugerisati teme za buduća istraživanja.

### Kratka istorija pojma prostor-vremena

U ovom kratkom prikazu istorije pojma prostor-vremena izdvojiću samo one momente koji mogu da rasvetle motive za uvođenje funkcionalističkog objašnjenja. Pojmovi prostora i vremena prvi put se problematizuju kod grčkih filozofa, naročito kod Zenona iz Eleje. Niz aporija vezanih za ove pojmove koje je on konstruisao, imaju zadatak da pokažu da je jedini razuman zaključak da prostor i vreme uopšte ne postoje, kao i da je samo kretanje jedna iluzija. Od njegovog vremena do danas priroda i karakter prostora i vremena jesu predmet rasprava i neizostavna tema unutar filozofije nauke. Aristotel je svoje shvatanje prostora i mesta razvio u *Kategorijama* i u *Fizici*, a ono je bilo vrlo uticajno za buduće teorije o ovom pojmu. Prostor i vreme, po njemu, jesu kontinualni kvantiteti - kvantiteti čiji delovi imaju zajedničku granicu. Prostor je shvaćen kao suma svih mesta koja tela zauzimaju, a mesto je deo prostora čije granice koincidiraju sa granicama tela koje to mesto zauzima. Mesto je akcidenca koja realno postoji, ali nije nezavisna u smislu supstancijalnog postojanja, i predstavlja granicu koja ograničava telo koje ga zauzima. Aristotel je držao da mesto nije deo same stvari već ono što stvar obuhvata, da materijalna stvar jeste odvojiva od svog mesta, i najzad, da mesto sadrži intrinzične odredbe «gore» i «dole», tako da teške stvari imaju tendenciju da se kreću ka svom prirodnom mestu, na dole, a lake stvari imaju tendenciju da se kreću ka svom prirodnom mestu, na gore. Ova poslednja tvrdnja daje osnov za mehaniku i za objašnjenje «prirodnog kretanja». Prostor jeste nešto realno, iako nije materijalan, on je nešto različito od tela koja ga zauzimaju. Ovim svojim shvatanjem Aristotel je uveo jedno specifično shvatanje prostora poput nekakve posude, ili kontejnera koji u sebi sadrži stvari<sup>2</sup> - pretpostavka koja je dugo implicitno pretpostavljena, a protiv koje će se funkcionalisti posebno boriti.

2 Sklar (1992: 16) smatra da je ova ideja o "kontejneru" bila implicitno prisutna i u Platonovom *Timaju*.

U sedamnaestom veku rasprava o prirodi prostora i vremena postala je jedna od centralnih metafizičkih tema. Aristotelovo shvatanje prostora, kao nezavisnog medijuma u koji su stvari smeštene, kulminiralo je u Njutnovom supstantivističkom stanovištu<sup>3</sup>, po kome su prostor i vreme entiteti nezavisni od materijalnih objekata i od ljudske svesti. Čak i da je Bog odlučio da ne stvori svet, prostora i vremena bi i dalje bilo. Problem sa takvim stanovištem je što apsolutni prostor i vreme (a sa njima i apsolutna brzina) nisu merljivi, što čini za Njutna neophodnim da razdvoji relativni, merljivi prostor i merljivo vreme od onih pravih, apsolutnih. Da li je takav apsolutni prostorno-vremenski okvir zaista bio neophodan dodatak fizičkoj teoriji, bilo je kontroveržno pitanje od Njutnovog vremena pa sve do dvadesetog veka. Problem se ponovo javio u devetnaestom veku kroz problem *etra* i bio je predmet diskusija i eksperimenata. Njutn je neophodnost postuliranja ovih apsolutnih entiteta video u potrebi da se potvrdi valjanost zakona inercije. Prema ovom zakonu svako telo teži da ostane u stanju mirovanja ili u stanju ravnomernog pravolinijskog kretanja sve dok na njega ne deluje neka sila koja ga primorava da svoje stanje promeni. Ali ravnomerno pravolinijsko kretanje i mirovanje mogu se, po Njutnu, jednoznačno odrediti samo ako se uvede neki apsolutni okvir referencije. Problem je u tome što je Njutnova mehanika invarijantna u odnosu na Galilejeve transformacije<sup>4</sup>, pa je Njutn shvatio da cela klasa "prostora" ili referentnih sistema odgovara na taj zahtev. Njutnov realizam nagao je da je neophodno uvesti jednu apsolutnu strukturu prostora i vremena<sup>5</sup>. Ovo stanovište imalo je i brojne kritičare, a među najvećima bili su Barkli i Lajbnic. Po čuvenom Lajbnicovom relacionističkom stanovištu, prostor i vreme nisu ništa samo po sebi, nezavisno od objekata i događaja koji ih sačinjavaju. Vreme je samo poredak sukcesivnih događaja, a prostor je samo poredak koegzistirajućih objekata. Njutn i Lajbnic do detalja su diskutovali svoje suprotstavljene pozicije, ali rasprava između supstantivista i relacionista po pitanju prostora i vremena se nastavila sve do danas<sup>6</sup>. Jedna od motivacija za uvođenje funkcionalističkog objašnjenja prostor-vremena bila je i ta da se pomoću njega može braniti jedno suptilno supstantivističko stanovište.

U antici, srednjem veku i modernom periodu prostor i vreme su bili tretirani odvojeno, a njihova povezanost je shvatana kao jedna akcidentalna činjenica. U Njutnovoj fizici, u kojoj su apsolutni prostor i vreme centralni momenti, oni su ipak posmatrani kao manje-više nezavisni jedan od drugog. Specijalna teorija relativiteta vodi do odbacivanja apsolutnog vremena i apsolutnog prostora. U univerzumu ne postoji

3 Važno je napomenuti da je kod Aristotela samo prostor shvaćen supstantivistički, ali ne i vreme.

4 Ako je data fizička situacija opisana od strane jednog posmatrača, Galilejeve transformacije kažu kako bi ista situacija bila opisana od strane posmatrača koji se kreće u odnosu na prvog konstantnom brzinom.

5 Više o Njutnovom stanovištu videti u (Janiak, Schliesser, 2012.)

6 Više o ovoj raspravi videti u (Earman, 1989).

jedinstveno merenje vremena, kao što je u Njutnovoj teoriji pretpostavljeno, što ima za direktnu posledicu i to da se pojam simultanosti među događajima mora promeniti. Dva posmatrača koja se kreću relativno jedan u odnosu na drugog, neće videti iste događaje kao simultane. Posle pojave teorije relativiteta, prostor i vreme se ne posmatraju više kao dva razdvojena entiteta koja su arbitrarno spojena zajedno, već kao jedan jedinstveni prostorno-vremenski okvir, čiju geometriju je konstruisao Minkovski, a koja se može nazvati kvazi-euklidskom<sup>7</sup>. U specijalnoj teoriji relativiteta zanearena je gravitacija, tako da ova teorija važi u odsustvu gravitacionih polja. Opšta teorija relativiteta jeste zapravo geometrijsko objašnjenje fenomena gravitacije. Naime, zakoni specijalne teorije relativiteta su invarijantni za sve posmatrača koji se kreću bez ubrzanja. U opštoj teoriji, Ajnštajn je uključio ubrzanje u teoriju i došao do zaključka da mase u kosmosu proizvode zakrivljenje prostor-vremenskog kontinuuma, čime se opisuje fenomen gravitacije. Zakrivljenost prostora koju mase u kosmosu izazivaju utiče na kretanje tela. Euklidova geometrija, koja opisuje prostor sa nultom zakrivljenošću, više se ne može uklopiti u teoriju, ali joj zato odgovara kvazi-ričanovska geometrija. Prostor-vreme našeg univerzuma, prema opštoj teoriji, ima promenljivu pozitivnu zakrivljenost, u zavisnosti od distribucije mase u tom prostoru. Zakrivljenost prostor-vremena se izražava metričkim tenzorom  $g^{uv}$ , i identifikuje se sa gravitacionim poljem. Ono što se postavlja kao pitanje jeste da li metrika opšte teorije relativnosti opisuje jedno fizičko polje koje služi da se opiše prostor-vreme ili ona *jeste* samo prostor-vreme? Na ovo će funkcionalisti pokušati da daju svoj odgovor. Na prvi pogled, može se činiti da je teorija relativiteta stavila tačku na raspravu između apsolutista i relacionista - apsolutni njutnovski okvir prostora i vremena je odbačen. Mnogi autori u teoriji relativiteta zaista vide pobedu relacionizma. Ali daleko od toga da je stvar time završena. Jedan broj autora, među kojima i neki funkcionalisti, smatraju da nas i teorija relativiteta vodi do realističkog stanovišta kada se radi o prostor-vremenu. U najmanju ruku, teorija dozvoljava prazan prostor, što strogi relacionisti imaju problem da dozvole. Ideja je da supstantivističko shvatanje prostor-vremena ne mora da uključuje aristotelovsko razumevanje prostora poput nekakve posude koja stvari obuhvata. Ovo stanovište ćemo razraditi u nastavku.

Metrika prostor-vremena u opštoj teoriji relativiteta jeste dinamički shvaćena: različita distribucija materije daje različite geometrije. Ta dinamika je opisana u Ajnštajnovim jednačinama polja. Metrika daje strukturu gravitacionog polja i strukturu prostor-vremena. Ova karakteristika zove se “pozadinska nezavisnost” i znači da ne postoji jedna unapred fiksirana metrika u modelu teorije. Međutim, u kvantnoj mehanici to nije slučaj, teorija ima unapred fiksiranu metriku, tako da je “pozadinski zavisna”. Problem se javlja u različitim programima kvantne gravitacije: kako prevazići ovu napetost? Teorija kvantne gravitacije bi trebalo da bude teorija koja

7 Utoliko što je to geometrija sa nultom zakrivljenošću.

opisuje gravitaciono polje u sićušnim regionima sa visokom energijom, u kojima karakteristike kvantne mehanike ne mogu da se zanemare. San bi bio i da nova teorija može da ujedini opštu teoriju relativiteta sa kvantnom mehanikom, mada to ujedinjenje može da ima različite oblike, od redukcije do neke vrste sinteze. Takva nova teorija (ili bar neki od predloženih istraživačkih programa u tom smeru) može da dovede do radikalno različite slike prostor-vremena od one na koju smo uobičajeno navikli. Može se čak desiti da se prostor-vreme u takvoj teoriji uopšte neće naći na fundamentalnom ontološkom nivou, već da će se pojaviti kao jedno emergentno svojstvo<sup>8</sup>. Još jedna važna motivacija za uvođenje funkcionalističkog objašnjenja prostor-vremena jeste upravo da se objasni ova emergencija. Ideja funkcionalista je da njihovo shvatanje prostor-vremena može sasvim lepo da se kombinuje sa emergentizmom: ne samo da prostor-vreme ne mora da se javi na fundamentalnom nivou, već ni realizator prostor-vreme uloge ne mora da čini deo fundamentalne ontologije. U nastavku teksta izložiću predlog funkcionalista, a onda ću se pozabaviti ovim problemima.

## Funkcionalizam

Funkcionalističko objašnjenje prostor vremena je prva predložila Elenor Noks, a ono je od tada zadobilo značajnu pažnju među filozofima fizike. Objasnjenje je, očigledno, pozajmljeno iz druge oblasti - filozofije duha, gde je već dugo popularno u skiciranju odnosa između duha i tela. Osnovna ideja jeste da prostor-vreme jeste pojam koji treba odrediti funkcionalno: neka struktura je prostor-vremenska ukoliko igra određenu ulogu u fizičkoj teoriji. Geslo koje se često ponavlja u tekstovima funkcionalista jeste "prostor-vreme jeste ono što prostor vreme radi"<sup>9</sup>. (Knox: 2014.b) argumentuje da funkcionalističko objašnjenje treba da nas oslobodi od dva pogrešna, a duboko ukorenjena, načina na koji posmatramo prostor-vreme: jedno jeste "matematički fetišizam", stanovište po kome je matematička forma dovoljan uslov da se nešto nazove prostor-vremenom, a drugi jeste aristotelovski "mit o posudi", o kome sam govorila ranije. Motivacija Noksove jeste da se pronade suptilan način na koji se može braniti supstantivizam po pitanju prostor-vremena - ne tako što ćemo fiksirati jedinstveni entitet, poput nekakve posude, koji jeste prostor-vreme, već tako što ćemo funkcionalno odrediti uloge koje prostor-vreme igra u fizičkoj teoriji. Onda ona struktura koja igra ove uloge zapravo jeste prostor-vreme.

Noksova svoju ideju razvija u okviru klasičnih fizičkih teorija, od Njutnove mehanike do opšte teorije relativiteta. Pitanje koje se postavlja jeste koje to uloge zapravo

---

8 Više o programima kvantne gravitacije i pomenutim problemima može se naći u (Rickles, French, Saatsi, 2006.)

9 Npr. (Lam, Wütrich, 2018.)

prostor-vreme igra u okviru ovih teorija? Da bi na ovo odgovorila, Noksova se oslanja na kapitalno delo koje je objavio (Brown, 2005). Braun se bavi operacionim značajem prostorno-vremenske metrike. Neka struktura se može nazvati prostorno-vremenskom samo ako igra odgovarajuću ulogu u zakonima teorije, a ta uloga mora biti takva da osigura da ponašanje čvrstih mernih motki, svetlosnih zraka, satova i sl. na adekvatan način reflektuje metričku strukturu teorije. Ovo se može osigurati samo polazeći od dinamike. U teoriji relativiteta metrika teorije uparuje se sa materijalnim gravitacionim poljima tako da princip ekvivalencije važi, a ovo jeste ključno za prostorno-vremenski karakter ove metrike. Da bi polja reflektovala geometriju Minkovskog, potrebno je da fundamentalne jednačine budu kovarijantne u odnosu na Lorencove transformacije. (Brown, Pooley, 2004.) ističu da ključ za razumevanje geometrije leži u detaljnoj analizi dinamike fizičke teorije. U specijalnoj teoriji relativiteta srž geometrije jeste u Lorencovoj invarijantnosti zakona, a u opštoj teoriji, u jakom principu ekvivalencije. Tako oni ističu prvenstvo dinamike u odnosu na geometriju, čime završavaju u nekoj vrsti novog relacionizma. Interesantno, Noksova koristi njihove uvide da pokaže kako oni zapravo idu u prilog supstantivizmu, ako se upare sa njenim funkcionalističkim stanovištem.

Oslanjajući se na Braunovu analizu, Noksova izvodi zaključak da funkcionalnu ulogu prostor-vremena ispunjava neka struktura ukoliko ona određuje lokalnu strukturu inercionih okvira. Ovo će odgovarati i klasičnoj Njutnovoj mehanici, kao i teoriji relativiteta, tako da princip može široko da se primeni. Metrika Njutnove teorije, kao i metrika Minkovskog, služe da definišu inercione okvire unutar odgovarajućih teorija. Sada Noksova ide korak dalje od Brauna: ove metrike unutar samih teorija *jesu* prostor-vreme, što je dovoljno da se brani supstantivizam. Metrika uspeva da zadovolji sve tražene uslove da bi se nazvala prostor-vremenom: lokalne simetrije dinamike koincidiraju sa lokalnim simetrijama metrike, pa otuda metrika upravlja ponašanjem satova, mernih motki, svetlosnih zraka i test-čestica koje slede dinamičke zakone teorije.

Noksova daje definiciju inercionih okvira koja je unekoliko sporna. Za razliku od standardnog određenja, po kome inercioni okvir jeste onaj u kome se slobodna tela kreću konstantnom brzinom, Noksova daje strožije određenje u kome pridodaje dva dodatna uslova. Naime, inercioni okvir je onaj u kome se: 1. slobodna tela kreću konstantnom brzinom, 2. zakoni fizike imaju istu (specifično jednostavnu) formu, i 3. sva tela i svi fizički zakoni izdvajaju iste ekvivalentne klase inercionih okvira. Ideja iza ove robusne definicije inercionog okvira jeste da se izbegnu potencijalne alternativne prostorno-vremenske strukture koje bi mogle biti generisane tako što bi se, konvencionalistički, redefinisala klasa slobodnih tela. Pitanje je, međutim, da li se time u krajnjoj liniji izneverava sama poenta funkcionalizma, koji služi tome da se izbegne fiksiranje jedinstvenog entiteta u okviru teorije, entiteta koji *jeste* prostor-vreme. Pored toga, nije sasvim jasno kako bi se odredila “specifično jednostavna forma” zakona o kojoj Noksova govori.

(Baker, 2018) kritikuje ovo određenje inercionih okvira tvrdeći da ovakav *inercioni* funkcionalizam ne može biti dovoljan da obuhvati sve slučajeve prostorno-vremenskih struktura. On smatra da postoje teorije, poput topoloških teorija kvantnih polja, u kojima ima smisla govoriti o prostor-vremenu, ali one nemaju vrstu inercionog okvira koju opisuje Noksova. Umesto toga, Bejker predlaže funkcionalizam u kome će se prihvatiti da uloga prostor-vremena ne mora biti jednoznačno određena: radije je to jedan *klaster* pojam. Kako (Baker, 2018: 2-3) kaže, “klaster pojmovi mogu biti zadovoljeni na razne načine, pomoću različitih entiteta koji pod njih potpadaju. Imati četiri noge nije ni nužan ni dovoljan uslov za jedno biće da potpadne pod pojam mačke, na primer - ali imati četiri noge pomaže za biće da se računa kao mačka. Isto važi za inercione strukture i naš pojam prostor-vremena...”. Drugim rečima, ne postoji jedan uslov koji je nužan da bismo nešto smatrali prostor-vremenom, ali izvesni broj uslova uzetih zajedno će biti dovoljni. Ovakvo shvatanje prostor-vremena omogućavalo bi da daleko šira klasa svojstava i relacija može da pomogne da se odredi da li je neka struktura prostorno-vremenska - a jedno od tih svojstava jeste i fizička fundamentalnost. U tom slučaju bi pitanje da li je prostor-vreme deo fundamentalne ontologije teorije bilo primarno u odnosu na pitanje šta se računa kao prostor-vreme. Problem sa Bejkerovim predlogom jeste njegovo fluidno i nedovoljno razrađeno određenje prostor-vremena kao klaster pojma. S druge strane, on je napao slabu tačku funkcionalizma Noksove - njeno insistiranje na supstantivizmu pomoću jake definicije inercionih okvira.

Ono što je dodatna motivacija za funkcionaliste jeste upravo da se objasni mogućnost da se prostor-vreme uopšte ne pojavi na fundamentalnom teorijskom nivou, kao što sam pomenula ranije. Noksova smatra da funkcionalizam kao stanovište može da se kombinuje sa emergentizmom, ali da funkcionalizam ne mora ovu emergenciju i da objasni. Po njoj, čak ni realizatori prostor-vreme uloga ne moraju nužno da se nađu na fundamentalnom nivou. Takođe se može ostaviti otvorenim pitanje da li se prostor-vreme može redukovati na neke entitete iz fundamentalnog nivoa ili ne. (Lam, Wütrich, 2018) smatraju suprotno: da je zadatak funkcionalista upravo da objasne prostor-vreme kao emergentno svojstvo. U nastavku ću se posvetiti njihovim argumentima.

### **Prostor-vreme kao emergentno svojstvo**

(Lam, Wütrich, 2018) smatraju da je snaga funkcionalizma upravo u tome što on može da dozvoli teorije kvantne gravitacije u kojima se prostor-vreme neće javiti kao deo fundamentalne ontologije. Otuda smatraju da je cilj objasniti kako prostorno-vremenske strukture proističu iz struktura koje nisu prostorno-vremenske. Uloge koje prostor-vreme igra su šire shvaćene nego kod Noksove, to ne moraju biti strukture koje daju inercione okvire teorije. Realizatori ovih uloga jesu kolektivni nivoi slobode i njihova struktura - oni su deo fundamentalnog nivoa teorije, dok su uloge opažljive tek kao efekti. Autori polaze od ideje koju je ponudio (Butterfield, 2011) da redukcija i

emergencija ne moraju da stoje u opoziciji. Emergencija prostor-vremena će se objasniti time što će se pokazati kako se ovaj entitet višeg reda može redukovati na entitete nižeg nivoa, pri čemu se još može dozvoliti da različiti entiteti nižeg nivoa mogu da instanciraju iste funkcije. Da bi to postigli, autori koriste Kimov model redukcije<sup>10</sup> u dva koraka: prvo treba funkcionalno definisati entitete višeg reda koje treba redukovati, a zatim treba objasniti kako svojstva ili entiteti nižeg reda mogu da ispune ove uloge.

U kontekstu kvantne gravitacije ono što se ispostavlja kao najveći problem jeste pronaći funkcionalistički opis karakteristika prostor-vremena koje omogućavaju lokalizaciju, koja je neophodna za empirijsku verifikaciju. Lokalizacija predstavlja značajan problem u kontekstu teorija kvantne gravitacije, gde se prostor-vreme eventualno neće naći među osnovnim entitetima teorije. Problem je u tome što se sva empirijska merenja odvijaju lokalno, u određenom, ograničenom regionu prostor-vremena, dok prostor-vreme ne postoji kao deo primitivne ontologije. Može se reći da ovaj problem nije sasvim nov - već se pojavio u okviru nekih interpretacija kvantne mehanike. Naime, realisti po pitanju kvantne mehanike prihvataju kvantna stanja ili talasne funkcije kao realne entitete. Pitanje koje se postavlja jeste u kom prostor-vremenu ti entiteti postoje? Talasne funkcije su definisane na  $3N$ -dimenzionalnom *konfiguracijskom prostoru*<sup>11</sup>, gde je  $N$  broj čestica koji se razmatra. To može biti vrlo visokodimenzionalan prostor, koji de facto nema ničeg zajedničkog sa trodimenzionalnim prostorom u kome naučnici vrše svoja istraživanja. Ako su talasne funkcije realni fizički entiteti, onda bi konfiguracijski prostor trebalo priznati za realni fizički prostor, što je krajnje kontra-intuitivno. Otuda ideja jednog broja autora<sup>12</sup> da je u svim fizičkim teorijama neophodno ustanoviti *primitivnu ontologiju*, koja će se sastojati od entiteta koji se nalaze u uobičajenom trodimenzionalnom prostor-vremenu<sup>13</sup>.

Problem je postavio (Bell, 2004.), na konferenciji održanoj 1975. godine, kada je uočio potrebu za uvođenjem konkretnih lokalnih entiteta u okviru kvantne mehanike, koje je nazvao *local beables*<sup>14</sup>. Ovo treba da budu entiteti koji se nalaze u nekom konkretnom regionu prostor-vremena i na koje se odnose naše opservacije. Teorija koja nema takvih elemenata ima problem da objasni empirijsku evidenciju, pa čak rizikuje i da bude empirijski inkohherentna, kako ističe (Healley, 2002.)<sup>15</sup>. Jedan od

10 Videti više u (Kim, 2005.)

11 Ako postoji  $N$  čestica od kojih svaka ima poziciju  $r_i$  u trodimenzionalnom prostoru, onda je konfiguracijski prostor definisan kao prostor konfiguracija svih čestica. Ako je  $N$  ukupan broj čestica u univerzumu, konfiguracijski prostor će imati  $3N$  dimenzija.

12 Prvi je ovu ideju izneo (Dürr, 1992.). Za diskusiju o ovim pitanjima videti (Allori, 2008.)

13 Više o ovoj temi videti u (Ney, Albert, 2013.)

14 Ovo je konstruisano ime u engleskom jeziku, dolazi od glagola "to be able".

15 Teorija je empirijski inkohherentna ako istina teorije podrija empirijsku evidenciju za verovanje da je ona istinita.



velikih kritičara teorija koje nemaju takve lokalne entitete je i Tim Modlin. (Modlin, 2007.) argumentuje da teorija koja ne sadrži uobičajeno prostor-vreme ima problem da osigura postojanje lokalnih entiteta, a bez njih se otvara problem smislenosti iskaza koji se odnose na empirijsku evidenciju. Povrh toga, gubi se intuitivna slika sveta po kojoj se složene stvari sastoje od prostih.

U okviru kvantne mehanike postoji izvestan broj teorija koje talasne funkcije snabdevaju zahtevanim lokalnim entitetima. U Bomovoj teoriji postulirane su čestice koje su lokalnog karaktera, a koje su nošene talasnim funkcijama<sup>16</sup>, Girardi -Rimini -Weberova teorija<sup>17</sup> uključuje mehanizam spontanog kolapsa koji omogućava da se talasne funkcije lokalizuju u koordinatama čestica, a ova teorija takođe može biti snabdevena lokalnim entitetima u vidu gustina masa, koje su različito distribuirane u prostor-vremenu. Ali i dalje ostaje otvoreno pitanje da li ovakve ontologije zaista rešavaju problem. Daleko od toga da je odnos između ovih lokalnih entiteta i talasnih funkcija jednoznačno određen, a veliki broj autora smatra i da ovakve primitivne ontologije teško mogu da osiguraju lokalnost u Belovom smislu<sup>18</sup>. Jedna od strategija jeste da se preispita potreba za postojanjem takvih lokalnih entiteta, kao što čine (Lewis, 2015.) i (Albert, 2013.). Albert stoji vrlo blizu funkcionalističkom rešenju: uobičajene trodimenzionalne objekte treba razumeti u terminima kauzalnih uloga koje igraju. Onda dinamika talasnih funkcija jeste takva da može da igra funkcionalnu ulogu trodimenzionalnih objekata (i događaja u uobičajenom prostor-vremenu) koje daju bazu za empirijsku evidenciju. U tom slučaju nisu potrebni dodatni lokalni entiteti poput čestica, fleševa, gustina masa i sl.

Kao što sam već rekla, problem lokalnosti postavlja se i u okviru istraživačkih programa koji se bave kvantnom gravitacijom. U njima, šta više, neće biti jednostavno snabdeti teoriju lokalnim entitetima, kao što je to slučaj u kvantnoj mehanici. Pored toga, pojavljuje se i problem sa vremenom, što nije bio slučaj u kvantnoj mehanici gde se talasne funkcije razvijaju u uobičajenom vremenu. Teorije kvantne gravitacije moguće neće imati ni prostor ni vreme na fundamentalnom teorijskom nivou. Albertov odgovor da su trodimenzionalni entiteti oni koji igraju odgovarajuće kauzalne uloge jeste problematičan ako kauzalne relacije treba opisati u terminima koji nisu prostorno-vremenski. Kao što sam već naznačila, jedna od glavnih prednosti funkcionalizma jeste upravo što može da se kombinuje sa idejom da prostor-vreme nije deo fundamentalne ontologije. Prema Noksovoj, takođe ni sam realizator prostor-vreme uloge ne mora da se nađe na fundamentalnom nivou. Funkcionalizam može da podrži emergentizam ali je neutralan po pitanju toga koji je ontološki status realizatora prostor-vreme uloge. (Lam, Wütrich, 2018.) smatraju da je upravo zadatak funkcionalista da objasne emergenciju prostor-vremena i da pokažu kako entiteti nižeg nivoa, koji nisu prostorno-vremenski, mogu da

---

16 Videti (Bohm, 1952.).

17 Videti (Ghirardi, Rimini, Weber, 1986.)

18 Videti npr. (Wallace, Timpson, 2010.), (Myrvold, 2015.) i td.

igraju prostor-vreme ulogu. Jednom kada se ovo razjasni, posao je završen - nema nekog nesvodivog «prostor-vreme ostatka». Autori smatraju da treba pokazati da fundamentalni nivoi slobode mogu kolektivno da se ponašaju tako da izgledaju prostornovremenski na makro nivou u svakom empirijski proverljivom smislu. Oni ovu ideju razvijaju na primerima kauzalne teorije skupova i «loop quantum gravity» teoriji.

## **Zaključak**

Razvoj fizičkih teorija primorava na preispitivanje osnovnih pojmova i ontoloških obaveza koje se u teorijama javljaju. Funkcionalizam jeste novi pristup pojmovima prostora i vremena koji može da prati istraživačke programe kvantne gravitacije, a pri tom dobro stoji i na planu klasičnih teorija. Po mom mišljenju, osnovna prednost ovog objašnjenja jeste upravo u tome što može da dozvoli da prostor-vreme bude emergentno svojstvo, koliko god da to u prvi mah može da zvuči čudno. Ovaj pravac razmišljanja može da baci i novo svetlo na tradicionalne metafizičke rasprave o prirodi prostora i vremena. Kao što sam ukazala u prethodnom tekstu, Noksova smatra da funkcionalizam omogućava jednu novu vrstu supstantivizma, koji će biti oslobođen «mita o posudi». Ja se slažem da funkcionalizam otvara novu perspektivu i daje novi prostor za realiste po pitanju ovih pojmova, ali mislim da se u okviru njega pre svega otvara mogućnost za pronalaženje suptilnog rešenja između supstantivizma i relacionizma. Način na koji Noksova vrlo usko određuje ulogu prostor-vremena u okviru fizičkih teorija, preko jake definicije inercionog okvira, možda unekoliko izneverava sam cilj funkcionalizma. Otuda smatram da bi imalo smisla dalje tragati za širim određenjem funkcionalne uloge prostor-vremena.

Funkcionalizam predstavlja i novu vrstu strukturalizma po pitanju prostora i vremena. Po strukturalističkoj poziciji, grubo uzevši, fundamentalni entiteti teorije nisu individualni objekti, već relacione strukture. Naravno, strukturalizam može biti formulisan na različite načine, u zavisnosti od toga kako se opisuje odnos između individualnih objekata i struktura u kojima se oni nalaze - od stanovišta da su objekti definisani preko pozicije koju imaju u određenoj strukturi, do stanovišta da individualnih objekata uopšte i nema. Strukturalizam se može formulisati kao pozicija koja je neutralna po pitanju rasprave između supstantivista i relacionista, a može se i približiti nekom od ova dva stanovišta. S druge strane, pitanje realizma se otvara i po pitanju struktura: da li same strukture imaju nezavisno postojanje i kakav je njihov status? Funkcionalizam može da bude vrlo udobna strukturalistička pozicija koja odgovara na ova pitanja. Neka struktura se može nazvati prostorno-vremenskom samo ako igra odgovarajuću ulogu u zakonima teorije, i povrh toga nema nekog nesvodivog ostatka. Detaljnija analiza odnosa između funkcionalizma i strukturalizma prevazilazi obim ovog rada, ali je krajnje zanimljiva tema za neko buduće istraživanje.

Još jedno pitanje koje zavređuje pažnju za dalja istraživanja jeste do koje mere se može povući paralela između funkcionalizma po pitanju mentalnih stanja i funkcionalizma po pitanju prostor-vremena? Standardni prigovor funkcionalizmu po pitanju mentalnih stanja poziva se na postojanje *qualia*, fenomenalnog aspekta naših mentalnih stanja koji se ne može redukovati, niti funkcionalistički interpretirati. Izgleda da *qualia* nema pandan u fizičkoj teoriji. Kako primećuje (Knox, 2014.), dok protivnici funkcionalizma po pitanju mentalnih stanja imaju bar pojam *qualia*, protivnici prostor-vreme funkcionalizma imaju samo jednu metaforu o posudi. Ovu paralelu bi trebalo ipak podrobno ispitati. U okviru filozofije duha obično se pravi podela između *funkcionalizma uloga* i *funkcionalizma realizator-tipa*. (Lam, Wütrich, 2018.) smatraju da je funkcionalizam Noksove realizator-forma funkcionalizma, dok ona sama smatra da je njen funkcionalizam neutralan po ovom pitanju. U nekom budućem radu trebalo bi ispitati koje su sve mogućnosti za formulaciju funkcionalizma po pitanju prostor-vremena i koji bi način bio najpogodniji.

Radmila Jovanović Kozłowski  
Odeljenje za filozofiju  
Filozofski Fakultet, Univerzitet u Beogradu

## Literatura

- D. Z. Albert, "Wave function realism", u A. Ney, D. Z. Albert (ed.) *The Wave Function: Essays in the Metaphysics of Quantum Mechanics*, Oxford University Press, 2013. 52.-57.str.
- V. Allori, S. Goldstein, R. Tumulka i N. Zangh, "On the Common Structure of Bohmian Mechanics and the Ghirardi-Rimini-Weber Theory", *British Journal for the Philosophy of Science* 59, 2008., 353.–389. str.
- D. Baker, "On Spacetime Functionalism", manuscript. <http://philsci-archive.pitt.edu/14301/>
- J. S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 2004.
- D. Bohm, "A suggested interpretation of the quantum theory in terms of hidden variables", *Physical Review* 85, 1952., 166.-193. str.
- H. Brown, *Physical Relativity: Space-Time Structure from a Dynamical Viewpoint*, Oxford University Press, 2005.
- H. Brown, O. Pooley, "Minkowski Spacetime: A Glorious Non-entity", u D. Dieks (ed.), *The Ontology of Spacetime*, Elsevier, 2004., 67.-89. str.
- J. Butterfield, "Less is different: Emergence and reduction reconciled", *Foundations of Physics*, 41, 2011., 1065. - 1135. str.
- G. C. Ghirardi, A. Rimini, T. Weber, "Unified dynamics for microscopic and macroscopic systems", *Physical Review D* 34, 1986., 470.- 491. str.
- D. Dürr, S. Goldstein, N. Zangh, "Quantum Equilibrium and the Origin of Absolute Uncertainty", *Journal of Statistical Physics* 67, 1992., 843.–907.str.

- J. Earman, *World Enough and Space-time, Absolute versus Relational Theories of Space and Time*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.
- N. Huggett, C. Wüthrich, "Emergent spacetime and empirical (in)coherence", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 44, 2013., 276-285 str.
- A. Janiak, E. Schliesser (ed.), *Interpreting Newton, Critical Essays*, Cambridge University Press, 2012.
- J. Kim, *Physicalism or Something Near Enough*, Princeton University Press, 2005.
- E. Knox, "Effective Spacetime Geometry", *Studies in history and Philosophy of Modern Physics* 44 (2013), 346-356. str.
- E. Knox, "Newtonian Spacetime Structure in Light of the Equivalence Principle", *British Journal for the Philosophy of Science* 65, 2014.a, 863-880. str.
- E. Knox, "Spacetime structuralism or spacetime functionalism?" Manuscript, 2014.b
- E. Knox, "Physical Relativity from a Functionalist Perspective", *Studies in history and Philosophy of Modern Physics*, 2017., <http://philsci-archive.pitt.edu/13405/>
- V. Lam, C. Wüthrich, "Spacetime is as spacetime does", *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol. 64., 2018., 39.-51. str.
- P.J. Lewis, "In search of local beables", *International Journal of Quantum Foundations*, vol 1, issue 4, 2015., 215.-229.str.
- T. Maudlin, "Completeness, supervenience, and ontology", *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 40, 2007., 3151.-3171.str.
- T. Maudlin, "Can the world be only wavefunction?" u S. Saunders, J. Barrett, A. Kent i D.Wallace (ed.) *Many Worlds? Everett, Quantum Theory, & Reality*, Oxford University Press, 2010., 121. - 143. str.
- W. Myrvold, "What is a wave function?", *Synthese*, 192 (10), 2015.
- A. Ney, D. Z. Albert (ed.), *The Wave Function: Essays on the Metaphysics of Quantum Mechanics*, Oxford: Oxford University Press, 2013.
- D. Rickles, S. French, J. Saatsi (ed.), *The Structural Foundations of Quantum Gravity*, Oxford University Press, 2006.
- L.Sklar, *Philosophy of Physics*, Westview Press, ISBN 13: 978-0-8133-0625-4 (pbk), 1992.
- D. Wallace, C. G. Timpson, "Quantum mechanics on spacetime I: Spacetime state realism", *British Journal for the Philosophy of Science* 61, 2010., 697.-727.str.

Radmila Jovanović Kozłowski

### **Functionalist Explanation of Spacetime** (Summary)

In contemporary physics, from General relativity and Quantum mechanics to new research programs of Quantum gravity, we can find a vast variety of spacetime structures, which makes the interpretation of this concept a real challenge. Recently, a group of authors advanced a new interpretation of spacetime called 'spacetime

functionalism', with the idea that spacetime should be defined via its functional role in the physical theory, in other words, "spacetime is what spacetime does". A material field or an object are spatiotemporal if they play a defined role in a physical theory. The approach is meant to be widely applicable, from classical mechanics to possible new theories of Quantum gravity, where spacetime might not appear at the fundamental theory level. Functionalism can be well combined with the emergent spacetime. It should also shed a new light on traditional philosophical debates between substantivists and relationists and between realists and anti-realists.

KEYWORDS: functionalism, spacetime, substantivism, relationism, Quantum gravity