

Bohrova filozofija i izmjene temelja fizikalnog jezika

MLADEN DOMAZET

Institut za društvena istraživanja, Amruševa 8, HR-10000 Zagreb
domazet@idi.hr

STRUČNI ČLANAK / PRIMLJENO: 15-09-04 PRIHVAĆENO: 08-12-04

SAŽETAK: Od samih početaka razvoja kvantne mehanike javlja se potreba metafizičkog razgraničenja "makro" svijeta opisanog "svakodnevnim jezikom" i "mikro" svijeta kojim se bavi formalizam teorije (ponajprije zbog pojave "isprepletenosti" dvaju ili više logički suprotstavljenih stanja). U tekstu se raspravlja o potrebi pomirenja ovako umjetno razgraničenih svjetova, uz pregled najvažnijih pravaca tumačenja formalizma teorije. Posebno se izlaže Bohrovo "kopenhaško" tumačenje i problemi koje pred njega postavlja EPR misaoni eksperiment. Pregledom Bohrovih odgovora na dani eksperiment, pokazuje se da njegovo tumačenje traži više od ograničenja svakodnevnog deskriptivne metafizike pri opisu pojava na mikro-nivou. Na taj način gubi se Bohrovo povlašteno mjesto među tumačenjima formalizma teorije. Pokazuje se da se niti MacKinnonov detaljniji shematski prikaz spajanja teoretskog i svakodnevnog jezika ne može primijeniti na zaključke EPR eksperimenta i Bohrov odgovor na njih. Sam MacKinnon nudi prijedloge izmjena "svakodnevnog" jezika uvjetovane matematičkim zaključcima kvantne mehanike, ali se i one pokazuju previše radikalnima i grubima da bi zauzele povlašteno mjesto u odnosu na ostala tumačenja teoretskog formalizma koja sa sobom nose velike ontološke i konceptualne zahtjeve.

KLJUČNE RIJEČI: Problem mjerenja, tumačenja formalizma kvantne mehanike, N. Bohr, EPR eksperiment, deskriptivna metafizika, svakodnevni jezik.

Tumačenja formalizma kvantne mehanike

Pri pokušaju filozofskog promišljanja kvantne mehanike (KM), najčešće već pri prvom koraku nailazimo na "problem mjerenja".¹ Naime, matematički formalizam teorije općenito nije moguće direktno povezati s jednoznačnim opisom fizičkog događaja (primjerice ishodom fizikalnog pokusa ili demonstracije) izrečenog pojmovima svakodnevnog jezika, bez potrebe za uvođenjem dodatnih pojašnjenja, primjerice definiranjem uloge motritelja i sl. Zbog linearne evolucije kvantnih stanja² izrečenih matematičkim formalizmom, postavlja se pitanje kako se kvantno stanje kojim su izrečene brojne mogućnosti ishoda "urušava" u samo jednu od tih mogućnosti, i kada se to

¹ Dobar uvod u problem mjerenja daje Saunders (2002).

² Kvantno stanje je opis "pretpostavljenog" predmeta istraživanja izrečen simbolikom matematičkog formalizma KM, temeljni element formalističkog izričaja.

dogada. S druge strane, ako do takvog “urušavanja” ne dolazi, onda motritelj ne može objasniti pojave koje zamjećuje. Jer motritelj, u pravilu, zamjećuje samo jednu od pojava pripisanih pojedinim kvantnim stanjima (samo jedan ishod mjerenja na makroskopskom uređaju), iako formalizam predviđa evoluciju stanja makroskopskog uređaja u “mješovito stanje” u kojem koegzistiraju i ostali mogući ishodi mjerenja (čak i ako oni ne mogu logički istovremeno postojati). Tako smo prinuđeni postaviti (neprecizno definirano) granicu između makro i mikro svijeta, između svijeta koji podliježe logičkim zakonitostima i onoga koji to naizgled ne čini. Ili možemo proširiti doseg kvantne teorije na sve fizičke predmete (uključujući i mjerni uređaj i motriteljevo tijelo), i pripisati “urušavanje” valne funkcije motriteljevoj svijesti (ne-fizičkoj stvari koja ne podliježe zakonima teorije).³

Stoga se problem mjerenja u području kvantne fizike može svesti na pitanje je li kvantno stanje ili neposredno iskustvo predmet fizikalnog istraživanja. Ukoliko se odlučimo za prvu opciju, tada formalizam KM postaje novi jezik kojim ćemo opisivati prirodu. Štoviše, on postaje jedini (ili zasada najbolji mogući) jezik koji je sposoban izraziti istine o prirodi. Kako su, međutim, jednadžbe toga formalizma linearne, dolazi i do superpozicije dvaju ili više osnovnih stanja. Ovakva je situacija nespojiva s klasičnom logikom, koja je pak u uskoj vezi s našim običnim jezikom. A upravo običnim jezikom opisujemo ono što doživljavamo u iskustvenim pokusima. Ako bismo odustali od opisa takve spoznajne situacije običnim jezikom, zbog neke njene intrinzične specifičnosti u odnosu na naše svakodnevne situacije (primjerice stoga što se radi o vrlo malom, o mikro-svijetu), bili bismo prinuđeni odustati i od klasične logike u danim spoznajnim situacijama. Ovakav nas razvoj događaja onda upućuje na razvoj neke nove, “kvantne” logike za dane spoznajne situacije. Možemo li, međutim, ići tako daleko i zahtijevati novi logički sustav kako bismo opravdali naš izbor jezika za neki izdvojeni skup spoznajnih situacija? Može li fizikalna teorija uvjetovati izbor logike?

Mnogima će se ipak činiti primjerenijim pokušati mijenjati teoriju kako bi se ona uskladila sa svakodnevnim jezikom i pripadnom logikom. U tome slučaju prihvaćamo iskustveni svemir kao temeljni predmet fizikalnog istraživanja i priznajemo ograničenost KM pri opisu prirode. Ta teorija ne daje temeljne odrednice opisa prirode i prinuđeni smo, na neki način, “nadopuniti” teoriju tim odrednicama. Ovakav stav zastupali su primjerice Einstein i Schrödinger.⁴

Međutim, KM ovakva kakva jest (dakle, s postojećim formalizmom) omogućuje izvanredan tehnološki napredak, bez da je ijednim dosadašnjim pokusom dovedena u pitanje. Sa stanovišta eksperimentalnog fizičara (eng. *working physicist*), ona je jedno od najboljih “teoretskih oruđa” dostupnih čovjeku i nema razloga da joj se traži zamjena u području pojava u mikro-

³ Ovakvo tumačenje zahtijeva također eliminaciju problematičnih stanja superpozicije za makro-objekte, kako to primjerice čine teorije dekoherencije.

⁴ Valente (2003).

svijetu. S takvog stanovišta dovoljno je osloniti se na “*minimalno tumačenje*” formalizma KM: kvantno stanje ima jasno značenje kad se pripíše skupu postulata i *na neki način* je vezano za mikroskopski fizički sustav i ishod mjerenja koji direktno iskustveno poimamo. Ovo tumačenje zahtijeva unošenje *ad hoc* “postulata mjerenja” kako bi se povezali formalizam i spoznajna situacija. Uz to ono nema gotovo nikakvu eksplanativnu vrijednost; ono omogućuje predviđanje, ali ne i objašnjenje⁵ zamijećene pojave na mikro-nivou.

Postoji široki spektar tumačenja formalizma KM koja nastoje, na međusobno manje ili više slične načine, pokriti nedostatke gore navedenog minimalnog tumačenja. Ovo se prvenstveno odnosi na razvoj deskriptivne metafizike koja će omogućiti objašnjenje zamijećenih pojava ili na postavljanje jasnih razloga za ograničenje deskriptivne metafizike ugrađene u svakodnevni jezik. Ovdje ću se ograničiti samo na “glavne pravce” tumačenja formalizma KM, kao ilustracije mogućeg odnosa deskriptivne metafizike i fizikalne teorije.

Instrumentalizam zauzima agnostički stav prema zbilji na mikro-nivou, ne upušta se u raspravu kakva je ona i da li uopće postoji. Zbiljnom se prihvaća jedino veza između pripremnog i mjernog makroskopskog uređaja. Ali, postoje spoznajne situacije u kojima je moguće proširiti primjenu formalizma KM i na makro-nivo, pa se instrumentalizam⁶ nalazi pred problemom postavljanja jasne granice između mikro-svijeta (čijom se metafizikom on odbija baviti) i makro-svijeta (kojem pripadaju i pripremni i mjerni uređaj čija je zbiljnost neupitna).

“*Everettovo*” tumačenje u osnovi pripisuje jednaku “dozu zbiljnosti” svakom od isprepletenih nesjedinjivih ishoda mjerenja, pri čemu ih smješta u različite grane svemira ili promatračeve svijesti. Po ovome tumačenju svi ishodi koje predviđa formalizam jednako su stvarni, ali je svaki pojedini od njih povezan s po jednom od verzija *motritelja* koja se nalazi u samo jednoj od mogućih spoznajnih situacija smještenih u pripadne grane svemira (ili promatračeve svijesti). Problem mjerenja pri tome se rješava tako da se odbacuje “urušavanje” mnoštva mogućih mjernih ishoda u jedan. Međutim, ovakvo beskonačno umnažanje svemira opravdano se čini ontološki prezahvatljivim rješenjem problema mjerenja.

Kopenhaško tumačenje, najbliže Bohrovom filozofskom stavu, pripisuje kvantno stanje pojedinačnom fizikalnom sustavu na mikro-nivou, ali za *razumijevanje* toga stanja nužno zahtijeva cjelokupnu spoznajnu situaciju. Naime, na mikro-nivou, istraživanje prirode zahtijeva prihvaćanje novog oblika znanja: *nesjedinljivog znanja*. Umjesto da uvodi novu deskriptivnu metafiziku, Kopenhaško tumačenje ograničava postojeću. Preostaje nam koristiti se

⁵ Pretpostavljam ovdje intuitivno razumijevanje *objašnjenja* pojava, pogotovo u odnosu na izraz “*na neki način*” gore.

⁶ Točnije, *instrumentalist* se nalazi pred rečenim problemom, ali ovdje ćemo zbog jednostavnosti teksta dati riječ samim tumačenjima formalizma.

svakodnevnim jezikom (uključujući i pripadnu deskriptivnu metafiziku), ali moramo biti svjesni njegovih ograničenja kada opisujemo spoznajne situacije povezane s objektima na mikro-nivou. Zbog ograničenja primjene svakodnevene deskriptivne metafizike, nismo u mogućnosti pojmiti pojave na mikro-nivou u okviru uobičajenog, *sjedinljivog* znanja i tako uobličiti jasno odvojene pojmove predmeta i podmeta unutar spoznajne situacije. Stoga smo prinuđeni uključiti cjelokupnu spoznajnu situaciju u razumijevanje kvantnog stanja vezanog uz određeni fizikalni sustav.

Bohrova filozofija i EPR eksperiment

Bohrovo tumačenje formalizma zasniva se na dva postulata: tzv. Bohrovom postulatu i Kvantnom postulatu. Bohrov postulat kaže da se spoznajna situacija može objektivno razumjeti samo ukoliko je opisana svakodnevnim jezikom. Kvantni postulat tvrdi da je u prirodi otkriven iracionalni (jednotni)⁷ element (Planckov kvant djelovanja) koji unosi neuklonjivi “poremećaj” u proces mjerenja i time ograničava postavljanje granice između predmeta i podmeta pri procesima motrenja na mikro-nivou.⁸ Ova dva postulata rezultiraju postavljanjem tzv. Bohrovog ograničenja: mikroskopska pojava je dobro definirana samo *u sklopu*⁹ jedinstvene cjelokupne spoznajne situacije. Bohr zahtijeva da prihvatimo ograničenost naše deskriptivne metafizike, razvijene za potrebe svakodnevnog iskustva s makroskopskim objektima koji se kreću brzinama puno manjim od brzine svjetlosti, pri opisu pojava na mikroskopskom nivou spoznaja kojih je, zbog uplitanja jednotnog iracionalnog elementa, radikalno drugačija od spoznaje makroskopskih pojava.

To konkretno znači da su svojstva mikroskopskog predmeta motrenja dobro definirana samo u odnosu na pojedinu spoznajnu situaciju. Primjerice, zbog nezanemarivog uplitanja jednotnog elementa u proces mjerenja, nemoguće je istovremeno dobro definirati (precizno odrediti) položaj (x) i količinu gibanja (p) pojedine mikroskopske čestice. Štoviše, pri mjerenju jedne od veličina dolazi do nepovratnog nezanemarivog poremećaja druge veličine. Dakle, pri pokušaju određivanja p izgubili smo određenost x , i obrnuto. Bohrovim riječima, ta su dva fizikalna svojstva *komplementarna*, dakle nespojiva u onakvu jedinstvenu sliku mikroskopskog predmeta odvojenu od specifične spoznajne situacije kakvu dozvoljava tradicionalni (Bohrovim rječnikom: mehanični) opis prirode.

Godine 1935, Einstein, Podolsky i Rosen¹⁰ postavljaju misaoni eksperiment koji, između ostalog, ukazuje na nedostatke ovakvog poimanja zbilje

⁷ Ovdje slijedim terminologiju koju je u hrvatski jezik uveo T. Vukelja u Vukelja (2000, 2004).

⁸ Dobar pregled Bohrove filozofije daje T. Vukelja u Vukelja (2000, 2004).

⁹ To znači da je potrebno uvijek i isključivo predočiti specifičnu spoznajnu situaciju pri opisu pojedine mikroskopske pojave.

¹⁰ Einstein, Podolsky and Rosen (1935).

na mikro-nivou.¹¹ Eksperiment opisuje dvije čestice koje se nalaze u početnom isprepletenom stanju u odnosu na prostorni položaj (x) i količinu gibanja (p). U tome slučaju formalizam ne dopušta izračun vrijednosti tih fizikalnih veličina za svaku česticu pojedinačno, na početku eksperimenta. Prema Bohru, ovdje nismo u mogućnosti govoriti o odvojenim česticama (jer im prostorni položaj nije dobro definiran), već samo o ukupnom sustavu koji se nalazi u pripremnom uređaju. Zbog komplementarnosti x i p , položaj i količina gibanja nisu niti za ukupni sustav *istovremeno* dobro definirane veličine.

Ako čestice razdvojimo tako da ih pošaljemo u dva različita, prostorno udaljena mjerna uređaja, i izmjerimo x i p na bilo kojem od dva mjerna uređaja, formalizam omogućuje da *odmah predvidimo* i vrijednost bilo koje od tih veličina na drugoj čestici (bez mjerenja na drugoj čestici). Točnost predviđanja moguće je uvijek potvrditi dodatnim mjerenjem odgovarajuće veličine na drugoj čestici. Kako udaljenost među česticama može biti iznimno velika, isključujemo mogućnost da je mjerenje na jednoj od čestica uzrokovalo precizno određivanje pripadne vrijednosti za drugu česticu. Stoga zaključujemo da su čestice imale izmjerene vrijednosti *prije mjerenja*, dok su se nalazile u pripremnom uređaju u isprepletenom stanju. Međutim, formalizam KM nije dozvoljavao precizno određenje izmjerenih veličina za pojedine čestice prije mjerenja. Einstein, Podolski i Rosen zbog toga zaključuju da je formalizam KM nepotpun i da ga je potrebno upotpuniti dodatnim varijablama.

Međutim, EPR eksperiment implicira i puno gore posljedice po Bohrovo razumijevanje prirode na mikro-nivou. Naime, u samome eksperimentu moguće je izabrati koja će se veličina mjeriti (x ili p) i nakon što su čestice već razdvojene (kreću se prema mjernim uređajima).¹² To znači da su one imale *točno određene vrijednosti x i p istovremeno*, dok su bile zajedno u pripremnom uređaju. Ovakav zaključak direktno krši Bohrov princip komplementarnosti, te narušava potrebu za ograničavanjem sjedinljivosti znanja na mikro-nivou.

Čini se da EPR eksperiment pokazuje kako je u određenim situacijama i na mikro-nivou moguće zadržati deskriptivnu metafiziku običnog jezika, bez postavljanja posebnih ograda pred mogućnost sjedinljivog znanja. Iako to formalizam nije eksplicitno dopuštao u početnoj situaciji, nakon mjerenja

¹¹ Ovaj se eksperiment popularno naziva EPR eksperimentom, po inicijalima autora. Njegov je izvorni zaključak da je formalizam KM nepotpun. Međutim, u međuvremenu Bell pokazuje da se formalizam ne može nadopuniti skrivenim varijablama, kako su to očekivali Einstein, Podolski i Rosen. Ovdje je cilj pokazati, slijedeći Barbourovo izlaganje u Barbour (1999), da Kopenhasko tumačenje formalizma KM, zasnovano na Bohrovoj filozofiji prirode, ne može ponuditi zadovoljavajuće objašnjenje pojava opisanih u EPR eksperimentu.

¹² Ukoliko ne želimo prihvatiti da su čestice uopće dobro definirane kao predmeti, te tako mogu biti razdvojene i kretati se prema različitim mjernim uređajima, niti da spomenute čestice podliježu klasičnim (i relativističkim zakonima gibanja), dovoljno je zahtijevati da odluka o mjerenju jedne ili druge veličine bude donesena nasumce (primjerice nekim slučajnim postupkom) bez znanja motritelja nakon što je pokrenut proces mjerenja.

možemo doći do spoznaje o prostornom položaju i količini gibanja pojedinih čestica na početku eksperimenta i tako (*retrogradno*) “sklopiti potpuni opis” predmeta motrenja. Pri tome se gore skicirani argument oslanja na dvije važne pretpostavke. Prva je pretpostavka o *odvojivosti*,¹³ pretpostavka da su elementi zbilje (fizički sustavi, predmeti) neovisni jedni od drugih kada su dovoljno udaljeni u prostoru. Ta pretpostavka sprječava mogućnost utjecaja mjerenja na jednoj čestici na drugu česticu. Nakon što se “razdvoje” dvije su čestice u potpunosti neovisne. Bohr, međutim, osporava univerzalnu primjenjivost odvojivosti. Može se reći da je odvojivost, po Bohru, dio mehanične predodžbe prirode¹⁴ na kojoj je zasnovana deskriptivna metafizika našeg jezika, ali koja nije primjenjiva na mikro-svijet zbog utjecaja jednog elementa. Prema tome, svojstva čestica u EPR eksperimentu, kao predmeta motrenja (mjerenja) dobro su definirana samo u sklopu cjelokupne spoznajne situacije, koja uključuje obje čestice i mjerne uređaje s kojima su one u međudjelovanju. To ne znači da motritelj koji nije sudjelovao u početnom dijelu eksperimenta nije u mogućnosti izmjeriti prostorni položaj ili količinu gibanja samo jedne od čestica, već da nije opravdano donositi zaključke o svojstvima koja su čestice imale na početku eksperimenta, u pripremnom uređaju, jer tada cjelokupna spoznajna situacija još nije dobro definirana.

Ovakav Bohrov odgovor povlači, međutim, neke kontraintuitivne zaključke. Mjerimo li, primjerice, količinu gibanja p na “razdvojenim” česticama mjernim uređajima koji su prostorno proizvoljno udaljeni, postići ćemo barem načelno kršenje komplementarnosti time što znamo prostorni položaj čestica (ne nužno vrlo precizno, ali znamo da se nalaze u proizvoljno udaljenim mjernim uređajima) i količinu gibanja obje čestice (makar i ne znali rezultate mjerenja količine gibanja na udaljenom mjernom uređaju). Bohr¹⁵ u ovome slučaju odbija priznati da je prostorna udaljenost čestica dobro definirana jer ona nije predviđena kao ishod opisanog mjerenja i ne ulazi u opis cjelokupne spoznajne situacije (u izvornoj postavi EPR eksperimenta, kao i u praktičnim situacijama zapravo se ne mjere x i p , već neke druge komplementarne veličine). Prostorna udaljenost proizvoljno udaljenih makroskopskih mjernih uređaja jednostavno nije dobro definirana u opisanoj spoznajnoj situaciji. Međutim, mjerni su uređaji makroskopski objekti i EPR eksperiment dozvoljava da budu postavljeni na različite krajeve svemira. Pri tome je razumljivo očekivati da se njihova udaljenost ne može zanemariti pri opisu predmeta mjerenja, mikroskopske čestice koja se u njima nalazi.¹⁶

¹³ Najčešće se zapravo govori o pretpostavci o “lokalnosti” (vidi Hughes [1989]). Odvojivost je općenitija pretpostavka koja je ovdje prikladna. Za odnos između odvojivosti i lokalnosti vidi Brown i Timpson (2002).

¹⁴ Ovo je Bohrov pojam koji se (okvirno) odnosi na tradicionalno poimanje svijeta podložnog Newtonovoj mehanici.

¹⁵ Bohr u Schilpp (1959), str. 232–235.

¹⁶ Sličan stav izražava i Einstein u odgovoru na Bohrov komentar EPR eksperimenta, u Schilpp (1959).

Druga pretpostavka na koju se (ovaj put eksplicitno) oslanja EPR eksperiment odnosi se na povezanost elemenata fizikalne teorije (dakle, i KM) i elemenata zbilje. Naime, Einstein, Podolsky i Rosen kažu da “ako *bez ikakvih poremećaja*”¹⁷ možemo potpuno sigurno predvidjeti (s vjerojatnošću 1) vrijednost fizikalne veličine, onda postoji element zbilje koji odgovara toj fizikalnoj veličini. Dakle, kada na osnovi mjerenja utvrdimo vrijednost određene fizikalne veličine na jednoj od razdvojenih čestica, i uz pomoć formalizma KM potpuno sigurno predvidimo ishod mjerenja na udaljenoj čestici, zaista postoji element zbilje koji odgovara danoj fizikalnoj veličini. Ako isključimo mogućnost da je taj element zbilje “nastao” kao rezultat mjerenja na odvojenoj čestici, zaključujemo da se radi o elementu zbilje koji je postojao i prije mjerenja, iako formalizam nije omogućavao izračun njegove vrijednosti. Bohr odbacuje ovakav zaključak tvrdeći da dolazi do poremećaja predmeta mjerenja pri samom *izboru* fizikalne veličine koju želimo mjeriti. Izborom fizikalne veličine koju želimo mjeriti, te pripadne spoznajne situacije, predmet mjerenja tek postaje definiran. Stoga Bohr zaključuje da se pretpostavka na koju se oslanjaju Einstein, Podolsky i Rosen ne može primijeniti jer nije ispunjen njezin preduvjet, naime da vrijednost fizikalne veličine bude predviđena *bez ikakvih poremećaja*. Poremećaj o kojem govori Bohr, međutim, posljedica je isključivo njegova tumačenja formalizma KM, a ne posljedica nekog fizičkog djelovanja.

Bohr, dakle, ima odgovor na problem koji pred njegovu predodžbu zbilje na mikro-nivou postavlja EPR eksperiment. Međutim, taj je odgovor u najmanju ruku kontraintuitivan kada zahtijeva da zanemarimo fizikalnu ulogu golemih prostornih udaljenosti ili fizikalnu inertnost čisto svjesnog izbora mjernog procesa. Iako se u početku činilo kako Bohr zahtijeva samo prihvatanje ograničenja deskriptivne metafizike povezane sa svakodnevnim jezikom, a ne njezinu izmjenu, sada se otvara i mogućnost drugačijih tumačenja. Odvojivost je naime intuitivno važan kriterij za razumijevanje prirode. Po Einsteinu radi se o pretpostavci nužnoj za postavljanje bilo kakve fizikalne teorije:

Ukoliko se ne postavi ovakva pretpostavka o neovisnosti postojanja predmeta koji su daleko udaljeni jedan od drugog u prostoru, nemoguće je fizičko razmišljanje na uobičajeni način. Također je nemoguće zamisliti oblikovanje i testiranje zakona fizike, bez jasne pretpostavke ove vrste.¹⁸

Odbacivanjem odvojivosti pri objašnjenju EPR situacije, Bohr odbacuje jedan od temeljnih elemenata deskriptivne metafizike svakodnevnog jezika, odbacuje mogućnost postojanja neovisnih predmeta motrenja u određenim spoznajnim situacijama. Ovdje se ne radi o neovisnosti predmeta motrenja od motritelja, već o međusobnoj neovisnosti dovoljno udaljenih predmeta. Ne radi se dakle samo o ograničenju mogućnosti da se sklopi sjedinljiva slika

¹⁷ Einstein, Podolsky i Rosen (1935), moj kurziv.

¹⁸ Einstein (1948).

predmeta motrenja, već se javljaju spoznajne situacije koje zahtijevaju radikalno drugačije razumijevanje predmeta fizikalnog iskustva. Dolazimo tako implicitno do razvoja nove deskriptivne metafizike nepomirljive s “tradicionalnim” shvaćanjem prirode zasnovanim na ontologiji fizičkih objekata (predmeta). Ali tada možemo prihvatiti i neka druga tumačenja formalizma koja razvijaju nove metafizičke sustave, primjerice “Everettovo tumačenje”.

S jedne strane su Bohrova objašnjenja njegove filozofske pozicije pohvaljena zbog logičke preciznosti,¹⁹ ali je s druge i dalje teško proniknuti u njihovu srž zbog neuobičajene predodžbe zbilje na kojoj se baziraju. Postoji stoga i mogućnost da se Bohr i Einstein nisu u potpunosti razumjeli, tj. da zastupaju radikalno različita shvaćanja svijeta i ulogu fizike (kao prirodoslovne znanosti). Einstein tvrdi da fizika otkriva objektivna svojstva neovisne zbilje, dok Bohr podvrgava istraživanje zbilje teoretskim ograničenjima znana svjesnog istraživača.

Bohr i Einstein nikada se nisu mogli razumjeti jer su razmišljali na različitim nivoima. Kada Einstein kaže da je KM nepotpuna, on to misli u ontološkom smislu; kada Bohr kaže da je KM nepotpuna, on to misli u epistemološkom smislu.²⁰

Promišljanje deskriptivne metafizike, potraga za meta-teorijom (MacKinnon)

MacKinnon²¹ nastoji razviti meta-teoriju koja bi razjasnila ulogu deskriptivne metafizike pri razvoju i tumačenju teorije, te njezinu eventualnu važnost za zajedničku pojmovnu srž različitih teorija (pogotovo teorija koje objašnjavaju iste pojave ili nasljeđuju jedna drugu). On prihvaća trodijelnu analizu jezika znanstvenih teorija u tradicionalnom obliku,²² ali želi jasnije definirati pojedine dijelove. Tako postavlja *fizikalni* i *matematički jezik*, te *pravila korespondencije*. Pravila korespondencije su nepromijenjena u odnosu na tradicionalnu analizu. Matematički jezik sastoji se od matematičkog formalizma teorije. Fizikalni jezik je djelomično prošireni svakodnevni jezik, onako kako to vrlo dobro obrazlaže Dummett u tekstu “Common Sense and Physics”.²³ Dummett smatra da kroz povijest fizikalne teorije usvajaju svakodnevne pojmove i spajaju ih s novim apstraktnim pojmovima, ili im jednostavno uporabom mijenjaju značenje. Ali promjena značenja pojmova nije neograničena: prihvatljive su one promjene značenja koje ne zahtijevaju

¹⁹ Scheibe (1973).

²⁰ Jaynes (1989), citirano u Valente (2003).

²¹ MacKinnon (1975).

²² MacKinnon daje povijesni pregled jezičnih analiza znanstvenih teorija gdje je dominantna podjela na teoretski jezik, iskustveni jezik i pravila korespondencije.

²³ Dummett (1979). Zanimljivo je da MacKinnon želi uklopiti svoj fizikalni jezik u pragmatično razumijevanje jezika kakvo zastupaju primjerice kasni Wittgenstein, Strawson i Sellars.

da odbacimo kao lažne one rečenice koje smo prvotno držali istinitima. A ako se i dogodi tako velika promjena značenja, pravila koja upravljaju novim značenjem pojma moraju biti jasna, kao što to mora biti i teorija koja zahtijeva takve promjene.²⁴

Deskriptivna metafizika (ili predodžba zbilje) koju implicitno sadrži svakodnevni jezik sastoji se od tijela u prostoru i vremenu koja imaju pojedinačna prvotna i drugotna svojstva (usp. *primary and secondary qualities* kod Lockeja). Međutim, deskriptivnoj metafizici nije cilj pružiti neku teoriju o zbilji koja postoji neovisno od nas, već samo ukazati na predodžbu zbilje koja je *implicitna* u jeziku. MacKinnon zahtijeva da promjene u predodžbi zbilje koje nastaju razvojem novih fizikalnih teorija budu uklopljene u svakodnevni jezik i da se mogu objasniti tim svakodnevним jezikom.

MacKinnonov program može se (pojednostavljeno) shematski pokazati na sljedeći način:

Fizikalni jezik

Svojstva ($s', t', u' \dots$) fizikalnih svojstava definirana u odnosu na

fizikalne operacije (L, M, \dots) na

svojstvima ($a, b, c \dots$)

fizičkih tijela

Matematički jezik

Svojstva ($\sigma', \tau', \upsilon' \dots$) matematičkih entiteta definirana u odnosu na

matematičke operacije (Λ, M, \dots) na

matematičkim entitetima

($\alpha, \beta, \gamma \dots$)

Pri tome je važna upravo hijerarhija pojmova unutar svakog od jezika odozdo prema gore. Upravo dvije najniže razine fizikalnog jezika ocrtavaju deskriptivnu metafiziku uklopljenu u taj jezik. Međutim, najproduktivnija povezanost između matematičkog i fizikalnog jezika ostvaruje se na najvišoj razini. Prema tome pravila uspostavljena na toj razini uvjetuju nužne promjene deskriptivne metafizike, shematski “odozgo prema dolje”.

Teoretski zaključci mogu se općenito prikazati adaptacijom Körnerove formule:

$$\left[(a \wedge c_j) \wedge (a \leftrightarrow \alpha) \wedge (\alpha \xrightarrow{MJ} \beta_k) \wedge (\beta_k \leftrightarrow b_k) \right] \xrightarrow{FJ} b_k$$

To znači da početne pretpostavke a i rubni uvjeti c , uz danu korespondenciju između a i α , kroz pravila matematičkog formalizma povlače skup matematičkih posljedica β . Ako postoji skup izjava b i korespondencija između b i β , onda je b skup teoretskih posljedica početnih pretpostavki a i rubnih uvjeta c .

²⁴ Dummett, ibid.

Gore navedenu shemu MacKinnon primjenjuje na povijesni primjer razumijevanja pojma inercije u sklopu razvoja klasične mehanike. I Descartes i Newton razumjeli su važnost pojmova “inercije” i “količine gibanja” u mehanici. Međutim, povezivanje tog pojma s formalnim matematičkim sustavom ovisilo je o načinu na koji se fizička tijela uklapaju u predodžbu zbilje. Za Descartesa je primarno svojstvo fizičkog tijela bila njegova *protežnost*, tako da se matematički količina gibanja izražavala kao umnožak ‘količine tvari’ i brzine tijela. Empirijski takva teorija nije davala dobre rezultate. Newton je postavio *masu* kao osnovno svojstvo fizičkog tijela i razvio uspješnu matematičku formulaciju mehanike. Newtonova matematička formalizacija mehanike oslanjala se na istu predodžbu zbilje u fizikalnom jeziku kao i one prije nje: fizikalna zbilja sastojala se od tijela koja imaju određena svojstva. Međutim, dogodio se prevrat u tome koja svojstva se smatraju primarnima, te što je sve potrebno da bi se takva svojstva pravilno shvatila (primjerice apsolutni okvir prostora i vremena u kojem će masivna tijela biti smještena). To ne znači da su neka drugotna svojstva izbačena iz fizikalnog jezika, ona su samo dobila umanjenu vrijednost u opisu zbilje i nisu više imala para u matematičkom formalizmu (matematičkom jeziku).

Međutim, ovakva nam shematizacija nije dovoljna da ocijenimo je li Bohrov odgovor na posljedice implicirane EPR eksperimentom, pogotovo kršenje principa komplementarnosti, zadovoljavajuć ili nije. Naime, Bohr odbija problematične zaključke oslanjajući se na nedefiniranost svojstava predmeta motrenja izvan jedinstvene spoznajne situacije. Pretpostavljamo, stoga, da se taj zaključak oslanja na povezivanje nekoliko odvojenih spoznajnih situacija, a ne jedinstvenu spoznajnu situaciju od početnog stanja u pripremnom uređaju do ishoda mjerenja. Po Bohru, te spoznajne situacije nisu nespojive same po sebi, već zbog nezanemarivog uplitanja jednog elementa. Ali, sam formalizam KM (dakle, matematički jezik teorije) ne sadrži jednotni element, tj. ne postoji direktan korelat jednotnog elementa u matematičkom jeziku, prema gore zadanoj shemi. (Baš kao što niti protežnost tijela ne odgovara matematičkom terminu ključnom za razumijevanje inercije.) S druge strane, niti Barbourov problematični zaključak ne može se direktno prevesti na matematički jezik, jer se pojmovi “vremena” i “početka” ne nalaze u matematičkom izričaju dane spoznajne situacije (ne postoji takav skup matematičkih entiteta β koji bi bio u direktnoj vezi sa skupom izjava b : “ x i p su dobro definirani u pripremnom uređaju”). I Barbourove implikacije EPR eksperimenta i Bohrov odgovor na njih²⁵ posljedica su dodatnih elemenata fizikalnog jezika i pripadne mu deskriptivne metafizike, koji nemaju svoje direktne korelate u matematičkom jeziku.

²⁵ Zapravo, Bohr ne daje direktan odgovor na ovakve implikacije, već nastoji pokazati da se cjelokupna EPR situacija može opisati u okviru njegova tumačenja formalizma KM, uz izbjegavanje nepoželjnih zaključaka.

MacKinnonova izmjena deskriptivne metafizike

MacKinnon nastoji ostati u granicama minimalnih ontoloških zahtjeva Kopenhaškog tumačenja (dakle, i u skladu s Bohrovim filozofskim tumačenjem skiciranim gore), ali uz eksplicitne *izmjene deskriptivne metafizike* fizikalnog jezika KM (u skladu sa shemom gore). Pri tome on također zastupa uplitanje jednog elementa u procese motrenja na mikro-nivou, zbog čega je nemoguće zadržati kontinuitet uzročnosti prije i poslije mjerenja. Umjesto pojmova “predmet” i “svojstva”, MacKinnon predlaže upotrebu općenitijih pojmova “sustav” i “stanje” u fizikalnom jeziku KM. Stanje je skup svojstava sustava koja mogu biti *istovremeno* specificirana, a sustav može biti skup predmeta, kao i pojedinačan predmet. Elementi matematičkog jezika koji su u direktnoj korelaciji sa stanjima moraju imati svojstva izomorfna svojstvima stanja. Kako je jedna od glavnih odlika kvantno-mehaničnih stanja da podliježu principu superpozicije, pripadni matematički entiteti također moraju podliježati tome principu.

Primjenjujući ovakav pristup MacKinnon prihvaća Diracov formalizam²⁶ kao već razvijen matematički jezik teorije, i traži elemente fizikalnog jezika s kojima bi se on sustavno povezao na način prikazan u gornjoj shemi. Prema tome KM ima dvije važne komponente: “fizikalni sustav, koji je u osnovi izmijenjeni nastavak svakodnevnog jezika i sadrži konceptualizaciju jednog dijela zbilje, te matematički sustav i pravila korespondencije koja povezuju dva jezika.”²⁷ Vezu između svakodnevnog iskustvenog jezika koji se “oslanja” na tijela sa svojstvima koja se kreću u prostorno vremenskom okviru i “hiperfinog” fizikalnog jezika razvijenog za tumačenje formalizma KM i pojava na mikro-nivou (jezika koji se “oslanja” isključivo na sustave kojima se pripisuju teoretski definirana stanja), MacKinnon vidi kao gradaciju od grube do hiperfine strukture. Hiperfina struktura sa sobom nosi bitno osiromašenu deskriptivnu metafiziku u odnosu na svakodnevni jezik. Ne samo da smo prinuđeni prihvatiti ograničenost svojstava koja mogu istovremeno biti opisana stanjem sustava, već moramo uklopiti sustave u zbilju koja nije podložna odvojivosti u određenim spoznajnim situacijama. MacKinnon sam ne daje primjer objektivnog objašnjenja pojave izrečenog takvim jezikom.

Stachel smatra da MacKinnonov prijedlog poziva tek na pokretanje detaljnije rasprave o granicama modifikacija običnog jezika, kako bi on pratio razvoj znanosti, a da pri tome ne izgubi uporabnu vrijednost kao “obični jezik”.²⁸ Nije odmah jasno da izmjene koje predlaže MacKinnon zadovoljavaju gore navedene Dummettove uvjete za izmjene svakodnevnog jezika na osnovi razvoja znanstvenih teorija. Bez obzira da li ćemo to zvati nesjedinljivo znanje ili ne, ne samo direktna iskustvena spoznaja, već i naše razumije-

²⁶ Jedan od oblika kodiranja teoretskih iskaza u matematički sustav.

²⁷ MacKinnon, *ibid.* str. 279.

²⁸ Stachel (1974).

vanje pojava na mikro nivou iznimno su ograničeni novom deskriptivnom metafizikom. Iako ona ne dozvoljava primjerice problematični Barbourov zaključak o retrogradnoj određenosti komplementarnih veličina, opis dane pojave toliko je siromašan da se teško može zvati objašnjenjem. Podsjećam, jedan je od glavnih zadataka tumačenja teoretskog formalizma bilo objašnjenje zamijećenih pojava unutar okvira teorije.

Stachel također primjećuje da MacKinnonu nedostaje općeniti argument da promjenom osnovnih elemenata deskriptivne metafizike (kao u primjeru prijelaza iz Descartesove u Newtonovu mehaniku) nećemo promijeniti zakone koje teorija postavlja. Postoje naime primjeri u povijesti znanosti koji pokazuju suprotno od onoga što MacKinnon želi pokazati.²⁹

Najveći problem, čini se, ipak predstavlja nesklad između deskriptivne metafizike koja se sastoji od tijela u prostoru i EPR zahtijeva za podložnošću svih zbiljnih predmeta kriteriju odvojivosti. Naime, čak i MacKinnonova hiperfina struktura mora podlijegati kriteriju odvojivosti, ako će se u konačnici uklopiti u grubu deskriptivnu metafiziku običnog svakodnevnog jezika. S druge strane, ukoliko se na razini hiperfine strukture pozove na odustajanje od odvojivosti, tako značajna izmjena predodžbe koju imamo o svijetu poziva opsežnija opravdanja nego što ih MacKinnon daje. Štoviše, ona nas ponovo vraća na početak rasprave o tumačenjima teoretskog formalizma, jer znakovite ontološke izmjene vraćaju i "Everettovo" i njemu slična (primjerice tzv. De Broglie-Bohmovo) tumačenja u igru. Potrebno je stoga možda okrenuti se tumačenju koje prihvaća EPR zaključke, ali ne postavlja dodatne ontološke zahtjeve za objašnjenje pojava na mikro-nivou.

Jedan takav zaključak iznosi Fuchs:³⁰ ako tvrdimo da stanje fizičkog sustava B ne ovisi o onome što se događa sa sustavom A, tada se u EPR eksperimentu mijenja isključivo naše znanje o sustavu B. Drugim riječima, vršeći mjerenje na sustavu A, saznali smo nešto o sustavu B. Ali onda kvantna stanja (elementi formalizma KM) nisu zbiljna stanja, tj. ona ne reflektiraju objektivne zbiljne situacije već predstavljaju stanja *subjektivnog znanja*.³¹ Radi se gotovo o minimalističkom pristupu, ali bez *ad hoc* postulata mjerenja koje je zahtijevalo gore spomenuto "minimalno tumačenje". Davidson³² tvrdi da su takva stanja određena misliocem, njegovom komunikacijskom zajednicom i *objektivnom zbiljom*. Za očekivati je da će Fuchsov program ukazati na potonje kao rezultat znanstvenog rada, kao ono što nam KM govori o svijetu izvan ljudske svijesti.

²⁹ Barker daje dobar primjer kako se pojam kretanja promijenio prihvaćanjem heliocentričnog sustava, u Barker (1973).

³⁰ Fuchs (2001).

³¹ Sažetu verziju Fuchsovih argumenata na osnovi EPR eksperimenta iznosi G. Valente u Valente (2003), str. 14.

³² Davidson (2001). Davidson to zapravo tvrdi općenito za mentalna stanja, od kojih jedno može biti znanje koje posjeduje pojedini motritelj.

Zaključak

Od prve pojave KM, početkom XX. stoljeća, javio se problem mjerenja, rješenje kojega je povuklo razvoj širokog spektra tumačenja teoretskog formalizma. Pred sve njih postavilo se ključno pitanje: treba li postaviti teoretski formalizam KM ili svakodnevni jezik kao “primarno oruđe” opisa prirodnih pojava na mikro-nivou. N. Bohr, jedan od osnivača teorije, zahtijeva oslanjanje na svakodnevni jezik uz prihvaćanje nužnih ograničenja, oličenih njegovim pojmovima “nesjedinljivog znanja” i “komplementarnosti”, pri opisu prirodnih pojava na mikro-nivou. EPR misaoni eksperiment, međutim, ukazuje na nedostatke “Bohrove filozofije”. MacKinnon pokušava razviti program koji bi *sustavno* izmijenio deskriptivnu metafiziku implicitnu u svakodnevnom jeziku kako bi ju prilagodio (a time i svakodnevni jezik) zaključcima KM. Iako on razvija složenu strukturu kako bi ostvario prijelaz između teoretskih zaključaka i iskustvenih pojava, ta struktura nije dovoljno čvrsta da spriječi ili objasni probleme nastale upravo na razini svakodnevnog jezika (probleme raskola između fenomenološkog opisa pojava u EPR eksperimentu i pripadnih teoretskih opisa). Drugim riječima, njegova meta-teorija nije dovoljno “snažna” da presudi pri rješenju specifičnih filozofskih problema KM koji su ponukali njezin razvoj. Čini se stoga uputnim istražiti program ponovne izgradnje formalizma KM, dakle i preispitivanja temelja teorije, na način da se prihvati EPR fenomenološki zaključak o nepotpunosti teoretskog formalizma na razini svakodnevnog jezika te pokuša formalno prikazati kvantno stanje, bez postavljanja dodatnih ontoloških zahtjeva. U duhu MacKinnonovog programa potrebno je pronaći odgovarajuću poveznicu matematičkog i fizikalnog jezika, bez potrebe za nepoželjnim izmjenama deskriptivne metafizike implicitne u temeljnoj (najnižoj) razini svakodnevnog jezika.

Bibliografija

- Barker, S. (1973) *Filozofija matematike* (Beograd: Nolit).
- Barbour, J. (1999) *The End of Time* (London: Weidenfeld & Nicolson).
- Brown, H. R. and Timpson, C. G. (2002) “Entanglement and Relativity”, u: V. Fano and R. Lupacchini (eds.): *Understanding Physical Knowledge* (University of Bologna, CLUEB 2002).
- Davidson, D. (2001) *Subjective, Intersubjective, Objective* (Oxford: Clarendon Press).
- Dummett, M. (1979) “Common Sense and Physics”, u: G. F. Macdonald (ed.): *Perception and Identity: Essays Presented to A. J. Ayer* (London: Macmillan) [pretisak u Dummett (1993): 376–410].
- (1993) *The Seas of Language* (Oxford: Clarendon Press).
- Einstein, A. (1948) “Quantum Mechanics and Reality”, *Dialectica* 2: 320–324.

- Einstein, A., Podolsky, B. and Rosen, N. (1935) "Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", *Physical Review* 47: 777–780.
- Fuchs, C. A. (2001) *Quantum Foundations in the Light of Quantum Information* (arXiv: quant-ph/0106166 v1; <http://xxx.lanl.gov>).
- Hughes, R. I. G. (1989) *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics* (London: HUP).
- Jaynes, E. T. (1989) "Clearing up Mysteries – The Original Goal u *Maximum Entropy and Bayesian Methods*" (Dordrecht: Kluwer Academic Publisher).
- MacKinnon, E. (1975) "Ontic Commitments of Quantum Mechanics", u: R. S. Cohen and M. W. Wartofsky (ur.): *Logical and Epistemological Studies in Contemporary Physics* (Dordrecht: Reidel).
- Saunders, S. (2002) "What is the Problem of Measurement?" [privatna komunikacija]; za raniju verziju ovoga rada vidi: *The Harvard Review of Philosophy*, Spring 1994: 4–22.
- Scheibe, E. (1973) *The Logical Analysis of Quantum Mechanics* (Oxford: Pergamon Press).
- Schilpp, P. A. (1959) (ed.) *Albert Einstein: Philosopher Scientist* (New York: Harper).
- Stachel, J. (1974) "Comments on MacKinnons Article", u: R. S. Cohen and M. W. Wartofsky (ur.) *Logical and Epistemological Studies in Contemporary Physics* (Dordrecht: Reidel), 309–317.
- Valente, G. (2003) *Probability and quantum meaning: Chris Fuchs's pragmatism in quantum foundations* (Doktorski rad, Università degli studi di Padova).
- Vukelja, T. (2000) *Filozofija znanosti Nielsa Bohra* (Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu).
- (2004) *Nesjedinljivo znanje: Bohrov doprinos filozofskoj teoriji spoznaje* (Zagreb: KruZak).

Bohr's Philosophy and Changes of Physical Language Foundations

MLADEN DOMAZET

ABSTRACT: Ever since the beginning of development of Quantum Mechanics there was a metaphysical division between the "macro" world as described in "everyday language" and the "micro" world described by quantum formalism (especially due to entanglement of two or more logically conflicting states). A discussion is offered of the need to reunite these arbitrarily divided worlds through an overview of the main interpretations of the formalism. Bohr's Copenhagen interpretation, as well as the problems it faces due to EPR thought experiment, is presented in greater detail. It is claimed that Bohr's answers to the said experiment demand more than a restriction of everyday descriptive metaphysics, when describing phenomena at the micro-level. Thus, the special place Bohr's interpretation takes among other interpretations of the formalism is forfeited. It is also shown that MacKinnon's more detailed schema aiming to connect the theoretical and everyday language cannot be applied to EPR conclusions and Bohr's reply to those. MacKinnon's own modifications of the "everyday language" induced by the mathematical conclusions of Quantum Mechanics are considered too radical and too coarse to take the vacated special place among formalism interpretations.

KEY WORDS: Measurement problem, interpretations of formalism of Quantum Mechanics, N. Bohr, EPR experiment, descriptive metaphysics, everyday language.
