

DUNJA ŠEŠELJA  
Filozofski fakultet, Novi Sad

## RAZOTKRIVANJE SVETA FIZIKE I SVETA U FIZICI

Letnja škola "Descrying The World in Physics" na Centralnom evropskom univerzitetu u Budimpešti

Leto na Centralnom evropskom univerzitetu u Budimpešti je i ove godine obeležio *CEU Letnji univerzitet (CEU Summer University)* sa 17 međunarodnih letnjih škola iz različitih, pretežno društveno-naučnih oblasti. Prirodno-naučna problematika našla je pak svoje mesto u kursovima iz oblasti filozofije koji su se ove godine bavili filozofijom nauke. *Descrying the World in Physics* ili *Razotkrivanje sveta u fizici* naziv je seminara iz filozofije fizike, održanog od 3. do 14. jula 2006, u kome je tridesetak postdiplomskih studenata i studentkinja iz Evrope, Azije i Amerike imalo priliku da čuje nekoliko svetski poznatih naučnika iz oblasti filozofije fizike.

Većinu predavanja održala su tri profesora sa američkih univerziteta: Dejvid Albert (David Albert) sa Univerziteta u Kolumbiji i Tim Modlin (Tim Maudlin) i Bery Louer (Barry Loewer) sa Rodžers Univerziteta. Među predavačima su se pojavili i Dejvid Papino (David Papineau) sa Univerziteta u Londonu, Dejvid Volis (David Wallace) sa Univerziteta u Oksfordu, Karl Hofer (Carl Hofer) sa Autonomnog univerziteta u Barseloni i Katalin Balog sa Univerziteta u Jelu. Osnovna ideja kursa sastojala se u uočavanju i objašnjavanju (koji i jesu značenjske odrednice engleskog glagola „to descry“) veze između različitih pojava u makro-svetu i ključnih postavki fundamentalnih fizičkih teorija, posebno kvantne i statističke mehanike, kao i opšte i specijalne teorije relativno-

sti. Imajući u vidu jedan od osnovnih problema filozofije nauke – razliku između, „zdravorazumske“ ili manifestne predstave sveta i sveta kako se prikazuje u naučnim teorijama, kurs je obuhvatio različita pitanja koja proizilaze iz ove tenzije. Da li je fizički prostor trodimenzionalan ili je broj njegovih dimenzija daleko veći, da li je tok vremena jednosmerno određen, da li fundamentalnu strukturu sveta čine čestice i/ili polja koja zauzimaju relativistički prostor-verme, a koje su određene kvantno-mehaničkim talasnim funkcijama – neka su od pitanja o kojima se diskutovalo u okviru seminara. Tokom prve nedelje, cilj predavanja bio je upoznavanje sa teorijskim osnovama i problemima kvantne i relativističke fizike, kao što su relativistički pojam prostor-vremena, kvantno-mehanički problem merenja, fenomen ne-lokalnosti u kvantnoj fizici, kao i upoznavanje sa vodećim interpretacijama kvantne mehanike. Druga nedelja kursa bila je posvećena problemu „razotkrivanja“ različitih aspekata manifestne slike sveta u okviru fundamentalnih fizičkih koncepcija. Predavanja i diskusije u ovom delu seminara ticale su se tzv. kontra-faktičkih uslova (eng. *counterfactuals*), pojma kauzaliteta, usmerenosti vremena, determinizma i slobode volje, kao i problema verovatnoće i slučajnosti.

Kao polaznica ove letnje škole, pre svega bih izdvojila predavanja Dejvida Alberta i Tima Modlina, čija je stručnost u ovoj oblasti rezultovala jednako kva-

litetnim izlaganjima. Okosnica njihovih predavanja predstavljao je problem interpretacije kvantne mehanike koji je razmatran kako s obzirom na tzv. problem merenja, tako i s obzirom na ontološku osnovu fizičkog realiteta koja proizilazi iz svake od interpretacija. Imajući u vidu značaj pomenute problematike, ovaj članak će u najosnovnijem iznetiti teorijske okvire četiri vodeće interpretacije kvantne mehanike, nudeći ih kao sažetak jednog dela predavanja održanih u ovoj letnjoj školi.

## 1. PROBLEM MERENJA

Mesto razilaženja (a time i razlog postojanja) različitih interpretacija kvantne mehanike obično se u literaturi navodi kao *problem merenja* (eng. *measurement problem*). Reč je o sledećem. Svaki fizički sistem (tj. svaki fizički objekat ili skup fizičkih objekata) u matematičkoj formalizaciji kojom operiše kvantna mehanika, biva predstavljen u vektorskom prostoru, gde mogućim fizičkim stanjima odgovaraju vektori stanja. Merljive osobine datog sistema (eng. *observables*), tj. fizičke veličine koje ga određuju, predstavljaju se linearnim operatorima nad datim vektorskim prostorom. Ukoliko je vektor, koji opisuje dato fizičko stanje sistema, ajgenvektor (izvesne ajgen-vrednosti) operatora koji odgovara određenoj fizičkoj veličini, onda se kaže da je sistem u *ajgenstanju* te veličine. Drugim rečima, fizička veličina kojom opisujemo stanje sistema u tom slučaju ima neku *konačnu* vrednost. Međutim, prema dinamičkim zakonima kvantne mehanike, fizički sistemi nisu uvek u ajgenstanju posmatrane veličine, već su podložni pojavi *superpozicije*. Naime, ukoliko sistem, čije je stanje određeno izvesnom fizičkom veličinom  $A$ , poku-

šamo da odredimo s obzirom na njoj "inkompatibilnu" veličinu  $B$ , dati sistem nužno dospeva u stanje superpozicije u odnosu na moguće vrednosti veličine  $B$ . Npr. za elektron određenog  $y$ -spina<sup>1</sup>, kaže se da je u superpoziciji u odnosu na vrednosti  $x$ -spina. To znači da se za dati elektron *ne može reći niti da ima donji, niti gornji  $x$ -spin, niti da ih ima oba, niti da nema ni jedan od njih*: date dve fizičke veličine ( $x$ -spin i  $y$ -spin) su „inkompatibilne” i stoje u međusobnoj superpoziciji.<sup>2</sup> Formalno gledano, stanje superpozicije izražava se u vidu zbira ili razlike vektora stanja.

Ali kako onda ovaj fenomen uskladiti sa merenjem fizičkih veličina? Drugim rečima, šta pokazuje merni instrument ako se ispituje vrednost veličine za koju je sistem u stanju superpozicije? Pokazuje se, naime, da samo merenje uvek daje tačno određeni rezultat, dakle, ajgenvektor posmatrane veličine s određenom ajgen-vrednosti, bez obzira na vektor stanja koji je opisivao sistem neposredno pre merenja. Sam rezultat je pri tome stvar verovatnoće i podleže izvesnim probablističkim zakonima.

Dakle, s jedne strane, dinamika vektora stanja počiva na strogo deterministič-

1 Spin čestice odnosi se na ugaoni momenat koji odgovara klasično-fizičkom pojmu ugaonog momenta rotacije čestice oko ose koja prolazi kroz njen centar. U kvantnoj mehanici česticu karakteriše spinvektor koji, analogno klasičnom pojmu ose rotacije, opisuje "smer" spina. S obzirom na različite "ose rotacije", može se govoriti o  $x$ -spinu,  $y$ -spinu ili  $z$ -spinu čestice, te o njihovim vrednostima, kojih u slučaju čestica sa polucelim spinom (fermiona) ima svega dve (obično se tada govori o "gornjem" ili "donjem" spinu).

2 Detaljan opis pojave superpozicije, uključujući i eksperimentalne razloge za njeno uvođenje, može se naći u prvom poglavlju *Quantum Mechanics and Experience* D. Alberta (Albert, David, *Quantum Mechanics and Experience*, Harvard University Press, 1998).

kim zakonima: ako je dato stanje određenog fizičkog sistema u nekom početnom vremenu (tj. ako je dat vektor koji predstavlja stanje sistema u vremenu  $t$ ) i ako su date sile i ograničenja kojima je taj sistem podvrgnut, na osnovu Šredingerove jednačine može se izračunati stanje datog sistema (tj. vektor njegovog stanja) u bilo kojem budućem vremenu  $t'$ , pri čemu je moguće da se kao rezultat pojavi i stanje superpozicije. S druge strane, merenje određene veličine imaće za posledicu *kolaps*<sup>3</sup> sistema u ajgen-stanje koje odgovara posmatranoj veličini. U koje konkretno stanje će sistem “kolapsirati” stvar je verovatnoće, koja je određena Bornovim pravilom.<sup>4</sup>

Princip po kojem se upravlja dinami-ka sistema, kao deterministički, po svemu sudeći stoji u protivrečnosti sa principom iz kojeg proizilazi rezultat merenja osobina datog sistema (koji je probablistički). I upravo u tome se sastoji suština tzv. problema merenja. Na koji način uskladiti dva principa, odnosno, na koji način interpretirati proces i rezultat merenja u kvantnoj mehanici, stvar je interpretacije ove fizičke teorije. Ovde ćemo u najosnovnijem izneti polazišta vodećih naučno-realističkih interpretacija kvantne fizike, među koje spadaju jedna verzija klasične kopenhagenske interpretacije, *GRV*-teorija, teorija više svetova i Bomova interpretacija.

3 Postulat kolapsa karakteristika je samo nekih od interpretacija kvantne mehanike, te ga ovde treba samo uslovno shvatiti.

4 Prema Bornovom pravilu, verovatnoća da će ajgen-vrednost  $b_i$  biti rezultat merenja vrednosti fizičke veličine  $B$  za sistem u stanju  $|A\rangle$  glasi:  $\text{prob}(b_i) = |\langle A|B=b_i\rangle|^2$ . (Ismael, Jenann, “Quantum Mechanics” u: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Jesenje izdanje, 2004), (ur) E. N. Zalta, URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2004/entries/qm/>)

## 2. INTERPRETACIJE KVANTNE MEHANIKE

### 2.1. Klasična kopenhagenska interpretacija

Iako među osnivače kopenhagenske interpretacije kvantne mehanike svakako spadaju Bor i Hajzenberg, njihovo razumevanje problema merenja obično se ne uzima kao relevantno iz ugla savremene naučno-realističke tačke gledišta.<sup>5</sup> Verzija kopenhagenske interpretacije koja se pak uklapa u ovo stanovište jeste Fon Nojmanna (Von Neumann).<sup>6</sup>

Prema ovoj interpretaciji, koja potiče iz 30-ih godina XX veka, dinamika stanja kvantno-mehaničkih sistema odvija se na osnovu dva fundamentalna zakona. S jedne strane, ona podleže Šredingerovoj jednačini ukoliko sistem nije predmet merenja. Ukoliko pak dođe do merenja neke fizičke veličine koja karakteriše dati sistem, njegovo stanje će “kolapsirati” u ono stanje u kojem tražena fizička veličina ima tačno određenu vrednost; drugim rečima, tada je na delu *postulat kolapsa*. Verovatnoća da će neka moguća vrednost date ve-

5 Treba pak napomenuti da problem merenja svakako počiva na Hajzenbergovom principu neodređenosti, međutim, kako razumeti celokupni smisao ovog principa (da li je reč o neodređenosti na epistemološkom ili ontološkom nivou) direktno će zavisiti od interpretacije problema merenja.

6 Prema rečima Dejvida Alberta (na jednom od predavanja u okviru pomenutog kursa), rana kopenhagenska verzija kvantne mehanike predstavlja doba “noćne more” u koju je interpretacija ove teorije bila zapala i iz koje se, na sreću, izvukla. U tom smislu vredi pomenuti i stav H. Patnama (Hilary Putnam): “Verziju kopenhagenske interpretacije kvantne mehanike – verziju koja zaista jeste interpretacija, za razliku od Borovih napomena koje tumačim kao odbacivanje mogućnosti naučno-realističke interpretacije – dao je Fon Nojman ([1932]).” (Putnam, Hilary, “A Philosopher Looks at Quantum Mechanics (Again)” u: *British Journal of Philosophy of Science*, br. 56, 2005, str. 615 – 634, str. 620; prevod D.Š.)

ličine biti rezultat merenja, određena je pomenutim Bornovim pravilom. Ovakvo tumačenje problema merenja ostaje pak nepotpuno. Značenje dva pomenuta zakona koji određuju kvantno-mehaničke sisteme direktno će zavisiti od toga kako smo odredili pojam *merenja*, s obzirom da primena jednog ili drugog zakona zavisi od toga da li se merenje odvija ili ne. Međutim, pojam merenja niti ima sasvim precizno značenje u običnom jeziku, niti je sam Fon Nojman na bilo koji način pokušao da ga bliže odredi<sup>7</sup>

mene nauke) empirijski razgraničiti posledice različitih pretpostavki o tome gde i kada bi se kolapsi tačno dešavali.

U pokušaju rešavanja problema merenja na drugačiji, više zadovoljavajući način nastale su ostale interpretacije kvantne mehanike. Prema Patnamu, sve moguće (naučno-realističke) interpretacije mogu se klasifikovati na sledeći način: interpretacija ili počiva na postulatu kolapsa ili ne; ukoliko počiva, onda je ili u pitanju spontani kolaps, ili kolaps koji je uzrokovan nekim spoljašnjim elementom

TEORIJE KOLAPSA	TEORIJE BEZ KOLAPSA
1. kolaps izazvan nečim van sistema, što samo nije u stanju superpozicije (npr. Fon Nojmanova interpretacija)	3. bez "skrivenih" varijabli (npr. teorija više svetova)
2. spontano izazvan kolaps (npr. GRV teorija)	4. sa "skrivenim" varijablama (npr. Bornova interpretacija)

Ali čak i ako bismo pokušali da odredimo trenutak u kojem dolazi do kolapsa talasne funkcije – da li je to momenat u kojem dolazi do interakcije između sistema i mernog instrumenta ili se kolaps dešava nešto kasnije u procesu merenja, kada subjekat merenja (njegova zenica ili optički nerv ili mozak subjekta ili nešto tome slično) dođe u kontakt sa procesom merenja – ispostavlja se da je eksperimentalno određenje ovog trenutka praktično nemoguće.<sup>8</sup> Nemoguće je, naime, (barem kako to izgleda iz ugla dostignuća savre-

(koji sam ne kolapsira); ukoliko pak odbacuje postulat kolapsa, onda interpretacija ili uključuje "skrivenne varijable" ili ih ne uključuje. Time dobijamo četiri različite koncepcije:<sup>9</sup>

### 2.2. GRV teorija

Tzv. GRV teorija (eng. GRW) dobila je ime po svojim osnivačima: Gerardiju, Riminiju i Veberu (Ghirardi, Rimini, Weber), koji su je izneli u zajedničkom radu iz 1986. Reč je o jednoj od vodećih teorija kolapsa, koja se može posmatrati kao pokušaj pronalaženja koncepcije prema kojoj merenja uvek imaju tačno određeni re-

<sup>7</sup> Albert, *QM&E*, str. 80 – 81.

<sup>8</sup> Za detaljno objašnjenje ovog problema videti: Albert, *QM&E*, str. 84 – 92.

<sup>9</sup> Putnam, "A Philosopher...", str. 626.

zultat, tj. prema kojoj se taj rezultat može utvrditi kao *tačno određeni položaj* mer-nog instrumenta, tako da se ne može desiti da “merenje da je *A* istinito” bude u superpoziciji sa “merenjem da je *B* istinito”.<sup>10</sup>

Naime, svaka elementarna čestica, prema ovoj teoriji, ponekad, mada veoma retko, odstupa od dinamičkih zakona kretanja (zasnovanih na Šredingerovoj jednačini) i kolapsira u ajgen-stanje položaja. Ovi kolapsi dešavaju se spontano (dakle, bez spoljašnjeg uticaja) i neravnomerno, tj. jedino u skladu sa izvesnim probablističkim zakonom. Pri tome je verovatnoća, da će čestica u nekoj jedinici vremena kolapsirati, izuzetno mala (toliko mala da, ako bi se sistem sastojao iz samo jednog izolovanog vodonikovog atoma, u proseku bi trebalo čekati više hiljada godina da bi on kolapsirao u određeno poziciono stanje<sup>11</sup>). Prostorna tačka u koju će talasna funkcija čestice kolapsirati određena je takođe probablistički, prema klasičnom Bornovom pravilu.<sup>12</sup> Međutim, onog momenta kada dođe do kolapsa jedne jedine čestice nekog sistema, stanje ceokupnog sistema biva umnoženo stanjem kolapsirane čestice na taj način da i sam sistem dobija tačno određeni položaj.<sup>13</sup> Ako sada uzmemo u obzir da se svaki makroskopski objekat sastoji iz izuzetno velikog broja elementarnih čestica, verovatnoća da će barem jedna od njih kolapsirati postaje toliko velika, da se gotovo može izjednačiti sa potpunom izvesnošću. I upravo usled toga, svi makroskopski objekti imaju tačno određeno mesto, tj. prostorni položaj

10 Albert, *QM&E*, str. 92 – 93.

11 Putnam, “A Philosopher...”, str. 623.

12 Svaki od pomenutih zakona verovatnoće važi za svaku česticu ponaosob.

13 Formalizaciju ovog aspekta *GRV* teorije videti u: Albert, *QM&E*, str. 94 – 95.

(s obzirom na makroskopske kriterijume određenosti).<sup>14</sup> I to istovremeno objašnjava zašto stanja superpozicije gotovo momentalno kolapsiraju kada dati mikro-sistem prestane da bude izolovan.

### 2.3. Teorija o “više svetova”

Kao što smo već pomenuli, pored teorija zasnovanih na postulatu kolapsa talasne funkcije, postoje interpretacije kvantne mehanike prema kojima problem merenja ne povlači nikakav kolaps. Jedna od poznatijih koncepcija ovog tipa jeste tzv. teorija o više svetova (eng. Many Worlds Interpretation) iz 1957, čiji je začetnik Hju Everit III (Hugh Everett III). Fizička realnost počiva, prema ovoj interpretaciji, isključivo na linearnim kvantno-mehaničkim jednačinama kretanja (zasnovanim na Šredingerovoj jednačini). To onda znači da rezultat merenja *x*-spina elektrona za koji prethodno znamo da ima određeni (recimo, gornji) *y*-spin, zaista jeste superpozicija vektora stanja donjeg i gornjeg *x*-spina. To, međutim, ima za posledicu da se ovakvo stanje zapravo mora predstaviti u vidu dva fizička sveta!<sup>15</sup> Svako kvantno-mehaničko merenje koje za rezultat ima superpoziciju dva stanja, imaće, dakle, ishod u podeli fizičkog sveta na dva dela, tj. na dve potpuno odvojene fizičke realnosti, u kojima će rezultati biti tačno određeni (u slučaju prethodnog primera, u jednom

14 Ovo bi bila pojednostavljena verzija GRV teorije, s obzirom da kolapsi čestice koje ona postulira zahtevaju dodatne specifikacije kako zakon održanja impusa i zakon održanja energije ne bi bili narušeni. O tome, kao i o kritici ove teorije, videti u: Albert, *QM&E*, str. 97 – 98.

15 Barem prema standardnoj interpretaciji Everitovog rada (koju je, između ostalih, dao De Wit (De Witt) 1970) (Albert, *QM&E*, str. 113).

svetu rezultat će biti donji x-spin, dok će u drugom to biti gornji x-spin).<sup>16</sup>

#### 2.4. Bomova interpretacija

Bomova interpretacija kvantne mehanike potiče još iz 1930. kada ju je Luj de Brojli (Louis de Broglie) predložio, međutim, matematičku formalizaciju dobila je tek 1952, sa Dejvidom Bomom (David Bohm), a dopunsku razradu sa Džonom Belom (John Bell) 1982. Ono što razlikuje ovu interpretaciju od ostalih, jeste, kako to D. Albert kaže, njena metafizička osnova,<sup>17</sup> zbog čega ćemo joj ovde posvetiti nešto više pažnje nego prethodno pomenutim koncepcijama. Naime, prema ovoj teoriji, svaka elementarna čestica ima tačno određeni položaj i zadatak je fizike da odredi evoluciju ovih položaja u vremenu. Kretanje čestica podleže potpunom determinizmu, i utoliko je ova interpretacija, za razliku od ostalih, u skladu sa klasičnom mehanikom. To onda znači da se probablističko razumevanje fizičkog sveta može javiti samo kao posledica nedostatka uvida u ovaj determinizam, tj. kao epistemološki (a ne ontološki) utemeljen pojam (upravo kao i u klasičnoj statističkoj mehanici). Međutim, za razliku od ontološke osnove klasične mehanike, Bomova interpretacija pored čestica i fizičkih polja uvodi jednaki ontološki status i za *talasne funkcije*. Drugim rečima, talasne funkcije su izvorno fizički entiteti (a ne samo matematičke predstave stanja datih česti-

ca), čija je evolucija određena upravo linearnim kvantno-mehaničkim jednačinama kretanja (tj. Šredingerovom jednačinom), što znači da u ovoj koncepciji nema reči o kolapsu talasne funkcije. Uloga talasne funkcije jeste da *vodi* česticu (slično fizičkom polju) u njenom kretanju, što se objašnjava dodatnim zakonima.<sup>18</sup>

Prema Bomovoj interpretaciji, brzina čestice data je na osnovu “brzinske funkcije” (eng. *velocity function*), koja je, kao i talasna funkcija, funkcija položaja čestice o kojoj je reč. Štaviše, ona se može izvesti iz talasne funkcije čestice u datom vremenu  $t$ , putem izvesnog konačnog algoritma. To onda znači da, ako je data talasna funkcija čestice i njen položaj u datom vremenu  $t$ , moguće je izračunati i brzinu čestice u vremenu  $t$  (i u tom smislu se može reći da talasna funkcija „gura” ili „vodi” čestice).<sup>19</sup> Upravo to je osnova pomenutog determinizma koji ova teorija uspostavlja na ontološkom nivou. Ali ne i na epistemološkom. Naime, prema fundamentalnom postulatu Borove interpretacije (koji Albert naziva *statističkim postulatom*), ako je data trenutna talasna funkcija čestice, dok trenutni položaj te čestice ostaje potpuno nepoznat, da bi se odredilo njeno buduće kretanje, mora se pretpostaviti sledeće: verovatnoća da se data čestica trenutno nalazi u nekoj tački prostora jednaka je kvadratu apsolutne vrednosti njene trenutne talasne funkcije u toj tački prostora – što nije ništa drugo do klasično kvantno-mehaničko Bornovo pravilo. Na osnovu dinamičkih jednačina kretanja talasne jednačine i forme algoritma za izračunavanje “brzinskih” funkcija,

16 Za dalju razradu, kao i probleme sa kojima se suočava ova interpretacija, videti: *QM&E*, str. 113 – 133. Treba pak napomenuti da je teorija o više svetova, nakon mnogobrojnih kritika, reaktualizovana radovima M. Lokvuda (Michael Mockwood) i D. Dojča (David Deutsch), kao i D. Volica (David Wallace) koji je o tome i sam održao dva predavanja u okviru ove letnje škole.

17 Albert, *QM&E*, str. 134.

18 Albert, *QM&E*, str. 135. Albert dodaje da su fizičke osobine talasnih funkcija, viđenih kao fizičkih entiteta, njihove amplitude u svakoj tački prostora.

19 Albert, *Q&E*, str. 137.

može se pokazati da će verovatnoća, da će se data čestica nalaziti u nekoj tački prostora u bilo kojem budućem vremenu, biti takođe određiva pomoću Bornovog pravila (tj. da će biti jednaka kvadratu apsolutne vrednosti talasne funkcije čestice u tom budućem vremenu, u toj tački prostora). Međutim, ispostavlja se da sve što se *uopšte* može znati o jednom fizičkom sistemu jeste upravo njegova talasna jedinačina! Naime, ako bismo želeli da odredimo prostorni položaj neke čestice koja konstituise dati sistem, ova vrsta merenja bi se nužno desila na račun promene njene talasne funkcije, što znači da je nemoguće istovremeno znati prostorno određene čestice i njenu talasnu funkciju.<sup>20</sup> Statistički postulat se onda može razumeti i tako, da bi prema njemu, talasna funkcija celokupnog univerzuma imala ontolški primat u skupu početnih uslova univerzuma, dok bi čestice bile raspoređene prema kvantno-mehaničkim zakonima verovatnoće, što je dovoljno da bi se evolucija univerzuma shvatila kao strogo deterministički određena.<sup>21</sup> I upravo prostorni položaji čestica predstavljaju „skrivenne varijable“ u ovoj teoriji, s obzirom da je njihovo određenje ono što nedostaje da bi se dobila deterministička slika fizičkog stanja stvari.

Bomova interpretacija se, stoga, empirijski gotovo i ne razlikuje od klasične (kopenhagenske) verzije kvantne mehanike, te uprkos njenom determinističkom polazištu, predviđanja koja iz nje proizilaze ne razlikuju se od onih koja su dobijena kvantno-mehaničkim zakonima verovatnoće. Specifičnost ove vrste determinizma jeste tzv. kontekstualnost fizič-

20 Razlog tome leži u prirodi samog procesa merenja, o čemu više u: Albert, *QM&E*, str. 165.

21 Albert, *QM&E*, str. 144 – 145.

kih osobina: rezultat merenja bilo koje kvantno-mehaničke fizičke osobine čestice, osim njenog prostornog položaja, neće biti strogo određen čak i ako su položaj čestice i njena talasna funkcija u potpunosti poznate. On će pak zavistiti od uslova merenja i načina njegovog izvođenja, usled čega sve pomenute kvantno-mehaničke fizičke veličine gube status intrinzičnih osobina čestica (tj. sistema) i nazivaju se kontekstualnim.<sup>22</sup>

Još jedna karakteristika Bomovih zakona vredna pomena jeste *nelokalnost*<sup>23</sup> sistema koji se sastoje od dve ili više čestica. Naime, ukoliko je data talasna funkcija sistema koji se sastoji iz dve čestice, brzina jedne čestice u nekom određenom vremenu  $t$  neće zavistiti samo od njenog položaja, već i od položaja druge čestice, bez obzira na to koliko je ova druga u tom trenutku udaljena.<sup>24</sup> To pak znači da, bi poznavanje („nerazdeljive“) talasne funkcije jednog takvog sistema i položaja njena oba konstituenta, bilo dovoljno da bi se omogućio prenos određene informacije, i to momentalno, bez obzira na to šta

22 Albert, *QM&E*, str. 155.

23 *Nelokalnost* označava međusobnu zavisnost prostorno udaljenih fizičkih sistema, odnosno merenja koja ih uključuju, i predstavlja negaciju *principa lokalnosti* prema kojem jedan sistem ne može vršiti nikakav fizički uticaj na neki drugi, udaljeni sistem, usled ograničenosti relativističkim prostor-vremen- skim kontinuumom (tačnije, tzv. prostorno-vremen- skim konusom). Princip lokalnosti predstavlja sa- stavni deo argumenta koji su Ajnštajn, Podolski i Rozen (Einstein, Podolsky, Rosen) izneli u svom za- jedničkom radu iz 1935. ukazujući da je kvantna me- hanika nepotpuna teorija. Tri decenije kasnije, Džon Bel će pokazati da celokupnu kvantnu teoriju nužno karakteriše upravo nelokalnost.

24 Albert, *QM&E*, str. 156. Ovakva vrsta zavisno- sti javiće se samo ukoliko se talasna funkcija siste- ma, koji se sastoji iz dve čestice, ne može „razde- liti“ na te dve čestice, tj. ako su čestice *zapetljane* (eng. *entangled*).

se nalazi između ove dve čestice.<sup>25</sup> Međutim, pošto jedino što možemo znati o jednom takvom sistemu jeste njegova talasna funkcija, ovakva nelokalna transmisija informacija biće praktično nemoguća.

Dakle, prema Bomovoj teoriji, talasne funkcije *kao da* podležu kolapsu pri merenju fizičkih sistema, koji se javljaju onako kao što to predviđa i klasična kopenhagenska interpretacija, međutim, to sve ostaje, kao što smo videli, samo slika na epistemološkom, ali ne i na ontološkom nivou.

\* \* \*

Filozofija fizike predstavljena je u ovoj letnjoj školi kao područje interpretacija fizičkih teorija, kao i epistemoloških i ontoloških osnova koje svaka od njih podrazumeva. Ono što, međutim, smatram nedostatkom ovakvog pristupa jeste nepostoja-

---

25 To je, naravno, u suprotnosti sa teorijom relativnosti, što onda važi i za celokupnu Bomovu mehaniku.

nje upitanosti o naučno-realističkom položaju ne samo interpretacija fizičkih teorija, već i filozofije fizike uopšte. Razmatranje problema svesti, kauzaliteta, te slobode volje bez osvrta na, recimo, Kantovu filozofiju ostaje uskraćeno za neke od ključnih filozofskih postavki koje pripadaju ovom području. Međutim, ovde nije reč o odbacivanju samo transcendentalne filozofije, s obzirom da ni imena kao što su Vitgenštajn (Wittgenstein), Patnam ili Kun (Kuhn) takođe nisu našla svoje mesto u ovim predavanjima. Reč je o radikalnom, gotovo dogmatskom, otklonu od svega onoga što bi se moglo naći u opoziciji spram naučno-realističkog gledišta, gde čak ni neke naučno-realističke koncepcije ostaju potpuno neprihvatljive.<sup>26</sup> Onog momenta pak, kada se (makar i uslovno) prihvate principi naučnog realizma, ova filozofsko-fizička škola ima šta da ponudi.

---

26 Recimo, naučno-realističke teorije smeštene u kantovskoj tradiciji, kao što su, na primer, Patnamov *interni realizam* ili pozno-kunovski *post-darvinistički kantianizam*.

MAJA SOLAR  
Novi Sad

## KLUB STUDENATA FILOZOFIJE «GERUSIJA»

Samoinicijativom studenata filozofije, u februaru 2005. godine, oformljeno je udruženje pod punim nazivom Klub studenata filozofije «Gerusija». Razvijajući filozofske interese neprekidnim angažmanom KSF «Gerusija» realizira načela i ciljeve propisane zvaničnim statutom udruženja. Udruženje podstiče slobodu izražavanja misli, ideja i stavova, slobodu pojedinca da se obrazuje i razvija svoje stva-

ralačke mogućnosti, poštovanje različitosti misli, ideja i stavova, kao i negovanje dijaloga i tolerancije. Neki od navedenih ciljeva udruženja su: unapređenje obrazovanja u oblasti filozofije, afirmacija filozofije kao profesije u društvu, omogućavanje naučne i obrazovne kooperacije između studenata, omogućavanje razmene informacija, znanja, iskustava, ideja, projekata, literature, pospešivanje mobilnosti