

Zoran Primorac

· Sveučilište u Mostaru, Fakultet prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanosti –
 · Institut za Okoliš, Mostar
 · xyzprimorac@yahoo.com

KRIZA FUNDAMENTALNE ZNANOSTI

*The Crisis of Fundamental Sciences**Az alaptudományok válsága*

Fundamentalne znanosti proučavaju osnovne zakone prirode, a to je prije svega fizika i ostale srodne znanosti. Status ovih znanosti određuje plauzibilnosti našeg znanja i pretpostavlja pravce i prognoze daljnjeg razvitka. Analiza suvremenog stanja, odnosno zadnjih desetljeća, fundamentalnih znanosti, pokazuje kako postoje izvjesne naznake krize. Znakovi krize imaju različite korijene, a navedimo samo neke; metodološki, epistemološki, ontološki i pragmatički. Nas prije svega interesira stanje krize koje je nastalo u nemogućnosti formiranja jedne jedinstvene fundamentalne znanosti, ostvarene preko jedinstvene fundamentalne fizike.

Početak prošlog stoljeća došlo je do paradigmatške promijene fundamentalne znanosti uobličene u Einsteinovoj Specijalnoj i Općoj teoriji relativnosti te Bohrovoj i Heisnebergovoj kvantnoj mehanici. Ova dva koncepta u mnogim dijelovima nisu kompatibilni i daljnji razvoj znanosti imao je za cilj pomiriti ova dva pogleda na svijet i dati jednu jedinstvenu teoriju. No, to se nije pokazalo izvedivim i do današnjih dana, a uzrok je u dubokoj ontološkoj razlici, odnosno različitim koncepcijama fizičke realnosti. U ovom kratkom radu pokušat će se dati naznake tih razlika, koji nas mogu navesti na zaključak kako imamo duboku krizu i ukoliko su ove dijagnoze točne nameće se jednostavno pitanje: nazire li se kraj fundamentalne znanosti, a samim tim i znanosti uopće ili imamo jedan novi početak?

Ključne riječi: fundamentalna fizika, Specijalna i opća teorija relativnosti, kvantna mehanika, jedinstvena fizika, ne-lokalnost, EPR-paradoks

Kada govorimo o krizi znanosti onda moramo konstatirati kako je ona prisutna u različitim oblicima, u raznim granama znanosti i očituje se na različite načine, tako na primjer; negdje se iskazuje prvenstveno kroz krizu savjesti (biotehnoške znanosti), drugdje se odražava uglavnom kao nedostatak financijskih sredstava potrebnih za istraživanje, što je opet posljedica društveno ekonomske determiniranosti same znanosti koja predstavlja problem po sebi, dok se negdje u najvećoj mjeri manifestira kroz krizu rezultata i problema samog pojmovnog aparata kojim se dotična grana znanosti koristi.

Ovim kratkim radom pokušat će se naznačiti kriza fundamentalne znanosti, koja se prije svega odnosi na krizu fundamentalne fizike, a to je dio fizike koji proučava temeljne principe i fenomene Svijeta i koja želi proniknuti u samu njezinu bit. Obratit ćemo pozornost na gore navedeni treći slučaj koji se ogleda u nemogućnosti jedne jedinstven i koherentne slike fundamentalnih fenomena.

O krizi se govori od osamdesetih godina prošlog stoljeća, ali je korijen problema od samog osnutka suvremenih teorija, koji zalaze na početak dvadesetog stoljeća, tj. pojave teorije relativnosti i kvantne mehanike. Inače, vrlo je indikativno i to što se o problemima ove vrste, tj. o krizi u fundamentalnoj znanosti, u javnosti govori vrlo malo ili nikako i kako se javno ističu samo uspjesi. Taj efekt se zasigurno može objasniti kontekstom u kojemu se odvijaju znanstvena istraživanja, gdje se tzv. „uspjeh“ shvaća kao uvjet opstanka jer je obično uvjet financiranja projekata. Ovo pokazuje svu kompleksnost problematike oko same krize jer otkriva kako se njezini različiti oblici međusobno prepliću. Na primjer, da se sudbina znanstvenih projekata, pa i samih znanstvenika, određuju na osnovi neznastvenih kriterija, odnosno ovise o faktorima koji stoje izvan znanstvene domene.

Dakako, nesumnjivo postoji napredak u pojedinim granama znanosti koji opisuju ograničeni raspon pojava, tako na primjer kemija omogućuje da izražavamo međudjelovanje atoma bez upućenosti u unutarnje ustrojstvo atomske jezgre. No, očekivalo bi se da imamo jednu cjelovitu i koherentnu, objedinjenu, teoriju koja bi obuhvaćala sve djelomične teorije kao približne i koje ne bi trebale da budu podešavane izborom vrijednosti izvjesnih proizvoljnih brojeva kako bi bile u suglasnosti sa činjenicama.

Traganje za takvom jednom teorijom naziva se ‘objedinjavanje fizike’, a projekt bi trebao biti proveden na ujedinjenju četiri fundamentalne sile ili fundamentalna fenomena; gravitacija, elektromagnetizam, slabe i jake nuklearne sile, što u konačnici svodi na objedinjavanju dvije fizikalne teorije a to je kvantna mehanika i teorija relativnosti, posebice Opće teorije relativnosti. Ovo jedinstvo traži se bezuspješno skoro čitavo jedno stoljeće i upravo ta činjenica ide u prilog tvrdnji kako je fundamentalna fizika u dubokoj krizi. Ovim radom će se djelomično pokušati rasvijetliti uzrok takvog stanja, koji najvjerojatnije stoji u nekompatibilnosti kvantne mehanike i Opće teorije relativnosti, odnosno njihovih konceptualnih razlika.

DVIJE TEORIJE SA RAZLIČITIM ONTOLOGIJAMA

Početak prošlog stoljeća došlo je do paradigmatičke promijene koncepta fizike, gdje je paradigma klasične fizike, uobličene u već tradicionalno Newtonovom svjetonazoru, zamijenjena sa dvije nove ideje koncipirane u Einsteino-

voj teoriji relativnosti i kvantnoj mehanici. Prva je izvršila korijenite promijene u poimanju prostorno vremenskih odnosa, a druga u shvaćanju mikrokozmosa i njegove egzistencije.

Albert Einstein 1905. godine objavljuje rad “*Ka elektrodinamici tijela u gibanju*“ (*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, Annalen der Physik 17, 891, 1905.), i postulira svoju Specijalnu teoriju relativnosti koja se odnosi na inercijske sustave postavivši dva načela: a) u svim sustavima koji miruju ili se gibaju konstantnom brzinom vrijede isti fizikalni zakoni; b) brzina svjetlosti u svim takvim sustavima je jednaka.

Zapravo ovo predstavlja proširenje načela relativnosti klasične mehanike koje pokazuje specifičnu crtu elektrodinamike, a proizlazi iz eksperimentalnih činjenica. Ovako prošireno načelo relativnosti omogućilo je invarijantnost zakona elektromagnetizma, ali impliciralo reviziju shvaćanja prostora i vremena ili bolje rečeno metrike prostora i vremena. Einstein nije bio zadovoljan rezultatima Specijalne teorije relativnosti jer je ona bila ograničena. Uistinu se nameće pitanje zašto inercijalni sustavi imaju prednost prema svim ostalim sustavima i zašto samo jednoliko pravocrtno gibanje ima relativan karakter. Zato je on htio poopćiti Specijalnu teoriju relativnosti, osloboditi je ograničenja i naći takvu matematičku formu za sve prirodne zakone koji će biti identični u svim koordinatnim sustavima, a to je učinio u Općoj teoriji relativnosti.

Einstein 1916. godine objavljuje Opću teoriju relativnosti u članku *Osnove opće teorije relativnosti* (*Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*, Annalen der Physik), gdje osnovu čine jednadžbe polja koje su definirale promjene u prostoru i vremenu gravitacijskog polja, i jednadžbe gibanja, koje su opisivale gibanje čestice u tom polju.

Osnovna postavka Opće teorije relativnosti: polje gravitacije je u bilo kojoj točki prostora ekvivalentno “umjetno” stvorenom polju sila zbog ubrzanja, a posljedica te postavke je Einsteinovo načelo o ekvivalentnosti tromer i teške mase. On zaključuje: ako se ne može razlikovati gravitacijsko polje neke mase od umjetno stvorenog polja sila zbog ubrzanja, tada nema razlike između teške i tromer mase.

Na osnovi općeg oblika jednadžbe gravitacijskog polja koji predstavlja sustav od deset jednadžbi, glavnu ulogu imaju tenzori krivine drugog ranga i skalar krivine. One opisuju karakter gravitacije, pa i prostor i vrijeme u ovisnosti od raspodjele supstancije.¹

¹ Opći oblik jednadžbe gravitacijskog polja, koji predstavlja sustav od deset jednadžbi glasi: – tenzor krivine drugog ranga, – metrički tenzor, – skalar krivine, – tenzor supstancije, – konstanta.

Fundamentalni tenzor (g_{ik}), koji je u slučaju Specijalne teorije relativnosti konstantna veličina, u Općoj teoriji relativnosti predstavlja promjenjivu veličinu i ovisi o distribuciji supstancije. Dakle u Općoj teoriji relativnosti pojam polja zauzima primarno mjesto, gdje veličina (g) ima metrička i gravitacijska svojstva. S jedne strane to su komponente metričkog tenzora, a na drugoj strani igraju ulogu gravitacijskog potencijala. Slijedi da prostorno-vremenski kontinuum ovisi od gravitacijskog polja i obratno. Tako jednačbe geodezijskih linija pokazuju gibanje čestice ili svjetlosti u gravitacijskom polju, pri čemu su uzeti u obzir inercija i gravitacija. Prisutnost raznih tijela odgovarajuće mase utječu na prostorno-vremenski kontinuum.

Kako Specijalna teorija relativnosti predstavlja samo poseban slučaj Opće teorije, tj. u graničnim uvjetima stanja bez polja ili infinitezimalne vrijednosti tog polja, dobili smo jednu koherentnu teoriju koja je opisivala mehaničke sustave u njihovom dinamičkom svojstvu te gravitacijsko polje.

Dakle, jednačbe teorije relativnosti su determinante, odnosno u svakom vremenskom trenutku mogli smo odrediti položaj, količinu gibanja i ostale parametre sustava. Problem je jedino u tome što se ove jednačbe odnose samo na mehaničke sustave, odnosno ako želimo da imamo jednu jedinstvenu teoriju onda se ona mora proširiti i na ostale entitete kao što je primjerice elektromagnetsko polje. Einstein je bio svjestan ograničenosti svoje teorije i tako je sve do svoje smrti pokušao naći jednu jedinstvenu teoriju polja odnosno jedinstvenu fiziku, ali bezuspješno.

Na drugoj strani, Planckovo otkriće diskretnih kvanta energije elektromagnetskog zračenja bilo je u oštroj suprotnosti s klasičnom teorijom, što je duboko uznemiravalo i samog Plancka pa je naknadno čak nastojao formulirati neke hibridne verzije svoje kvantne teorije kako bi je približio klasičnoj fizici koliko mu se samo činilo mogućim. Međutim, radikalna formulacija kvantne fizike je dobivala sve više potvrda, tako 1905. Einstein pomoću nje daje briljantno objašnjenje foto-električnog efekta odakle je slijedio zaključak kako svjetlosni kvanti posjeduju ne samo određenu energiju već i određeni impuls.

Einstein je uspješno primijenio ideju kvantizacije kako bi riješio jedan važan problem u fizici čvrstog stanja koji je mnogo godina zbuñivao znanstvenike. To je bilo narušavanje klasičnog Dulong-Petitovog zakona o toplinskom kapacitetu (specifičnoj toplini). Eksperimentalno nađena temperaturna ovisnost toplinskog kapaciteta krutina nije se mogla objasniti u okvirima klasične teorije. Konačno je Einstein 1907. primijenio Planckovu ideju kvantizacije elektromagnetskog zračenja na energiju vibracija kristalne rešetke. Tako je uspio teoretski izvesti temperaturnu ovisnost toplinskog kapaciteta krutina koja se slagala s eksperimentom i time položio jedan od temelja moderne teorije čvrstog stanja.

I tako, od kraja XIX. stoljeća do 1913. godine, nakupio se velik broj eksperimentalnih rezultata koji se nisu mogli objasniti na temelju postojeće teorije:

otkriće diskretnih linija poredanih u pravilne serije u atomskim spektrima, fotoelektrični efekt, toplinski kapacitet plinova, toplinski kapacitet krutina i zračenje crnog tijela, sve je to ukazivalo na kvantizaciju energije. Nakon što je Rutherford predložio svoj planetarni model atoma, Niels Bohr je 1913. povezo sve te činjenice i ideje u prvu, ne sasvim ali ipak prilično konzistentnu kvantnu teoriju atoma.

Povezujući planetarni model atoma s idejom kvantizacije, Bohr je dao zakon za frekvencije zračenja vodikovog atoma koji je objašnjavao Ritzov kombinacioni princip i Balmerovu formulu te omogućio izračunavanje Rydbergove konstante. Bohrovu teoriju, ili točnije Bohrov model, je dalje uspješno razvijao i poopćavao i on sam kao i Sommerfeld, Debye i drugi. Idejom “kvantnih skokova” između raznih kružnih ili eliptičnih “planetarnih orbita” elektrona u atomu uspjelo se objasniti i sistematizirati golem eksperimentalni materijal o spektralnim linijama. Isto tako, formuliranjem principa korespondencije postalo je jasno da kvantna teorija daje u makroskopskom limesu klasičnu fiziku.

Međutim, do 1922., unutrašnje inkonzistencije i ograničenja te tzv. „stare kvantne teorije“ postala su očigledna. Novi razvoj bio je potaknut idejama o valno-čestičnoj dvojnosti prirode kvantnih objekata.

Konačno, što se tiče fizikalnog značenja valne funkcije, Born je 1927. predložio njenu probabilističku interpretaciju koja je izbjegla kontradikcije kakve su mučile druge interpretacije i koja je izdržala sve kritike i testove i ubrzo postala općeprihvaćena. Valna je funkcija po Bornu matematički opis valova vjerojatnosti, a ne valova materije. Drugim riječima, valnu funkciju u nekoj točki možemo interpretirati kao amplitudu vjerojatnosti i njen apsolutni kvadrat povezati s gustoćom vjerojatnosti nalaženja elektrona, a ne s gustoćom elektronskog naboja ili gustoćom elektronske materije u toj točki, pa se de Broglievi valovi ne mogu opisati kao neka vrsta klasičnih valova.

1927. je Heisenberg uveo u kvantnu teoriju i svoje relacije neodređenosti koje kažu da nije moguće do proizvoljne preciznosti odrediti istovremeno sve varijable koje karakteriziraju mikročestice, već samo neke. Na primjer, što preciznije elektronu određujemo njegov položaj, to veću neodređenost unosimo u njegov impuls, i obratno. Te relacije od najdublje fundamentalne važnosti znače konačni raskid kvantne mehanike s klasičnim determinizmom kakav vlada u klasičnoj mehanici ili elektromagnetizmu, te fundiranjem kvantne mehanike kao teorije probabilističkog statističkog tipa.

Iz ovog kratkog opisa razvoja jedne i druge teorije već se u početnoj fazi pokazuje njihova nesumjerljivost, odnosno ontološka razlika, a kao interesantna činjenica navedimo kako je Einstein aktivno sudjelovao u stvaranju kvantne mehanike da bi kasnije postao njezin ozbiljan kritičar. Prva ali ne i jedina ontološka razlika leži u principu ili relaciji neodređenosti koja u svojoj konačnoj interpretaciji niječe deterministički pristup nego se atomski svijet može proma-

trati samo na statistički način, što je za Einsteina bilo ne prihvatljiva, poznata je njegova izjava da se *Bog ne kocka* aludirajući kako su zakoni prirode nešto što se ne može smatrati vjerojatnim².

Možda bi najbolje mogao objasniti situaciju sa kvantnom mehanikom sam stav N. Bohra, koji uistinu ne negira stvarnost, ali zaključuje kako kvantna mehanika implicira da se o njoj ništa ne može reći, što je svrstava u sustav formula kojima se koristimo za predviđanje ili da bi tehnološki kontrolirali stvari sa čime se mnogi znanstvenici ne mogu složiti. Dakle, ona nudi izvjesnost a ne istinu, a parafrazirajući K. Popper koji kaže kako moramo razlikovati istinu, koja je objektivna i apsolutna, od izvjesnosti koja je subjektivna, jer znanstvena izvjesnost ne postoji. Ovakav stav ili ovakvi stavovi su možda pretjerani ali ukazuju da je kvantna mehanika u mnogome različita u ontološkom i epistemološkom smislu od Einsteinove teorije relativnosti.

Možemo slobodno reći da ontologija kvantne mehanike i ne postoji jer ona, barem u interpretaciji N. Bohra i W. Heisenberga, ne govori o bitku stvari nego samo o načinu istraživanja što je epistemologija koja se bazira na operacionizmu. Za razliku od klasične fizike, gdje iz matematičkog formalizma na precizan način slijedi ontološki opis objektivnog svijeta u kvantnoj mehanici to ne može biti slučaj. Dakle, ovakvo tumačenje je primarno formulirano kao jedna *epistemologija* kantovskog tipa, koja se ne bavi toliko načinom objektivno vrijedne i nužne spoznaje vanjskog svijeta, već pita o uvjetima mogućnosti iskustva tog svijeta.

Moramo napomenuti kako su obje teorije logičko–matematički besprijeorne, ali tu leži opasnost jer savršene matematičke konstrukcije nekog teorijskog modela ne znači da posjedujemo teoriju koja se odnosi na objektivni svijet. Tako na primjer u kvantnoj mehanici postoji barem devet različitih matematičkih formulacija (npr. valni formalizam, matrični, Diracov, Feynmanov, Wignerov...) Različiti formalizmi uvode različite elemente od kojih polaze u izgradnji teorije, postavlja se pitanje koji je formalizam tj. čiji su elementi najbliži onom zbiljskom, *elementima fizičke zbilje*, kako bi rekao Einstein?

U daljnjem tekstu navedimo samo neke osobine kvantne mehanike koje su u najmanju ruku nespojive sa teorijskim osnovama teorije relativnosti, a posebice sa Općom teorijom. Metodološki, jednadžbe kvantne mehanike su iznimka u fizici jer su isključivo linearne, a posljedica je načelo superpozicije što u konačnici imamo slučaj da se jedno matematičko načelo nameće kao fizički princip. Tako na primjer, ako imamo raspršenje dviju identičnih čestica onda su one

² „Još mogu povjerovati da je Bog stvorio svijet u kojemu ne postoje zakoni prirode, drugim riječima da je stvorio kaos. Ali da su statistički zakoni konačni i da je Bog svaki slučaj odlučivao kockom – ta misao mi je krajnje antipatična.“ (B. G. Kuznjecov, *Ajnštajn*, 1975)

nerazlučive. Ova superpozicija dovodi do još jednog fenomena koji karakterističan samo za kvantnu mehaniku, a to je kolaps valne funkcije.

Problem kolapsa valne funkcije je usko povezan sa mjerenja, koji se sastoji u sljedećem; ako promatramo par čestica u interakciji i ako odaberemo stanje za jednu česticu odmah je određeno i stanje druge čestice, dakle valna funkcija se raspada i to samo prilikom mjerenja na dva superponirana konačna rješenja. No, kada se taj kolaps javlja to je pitanje za sebe i s obzirom na različiti opis mikrokozmosa i makrokozmosa gdje je granica primjenjivosti, odnosno koliko čestica može ostati u stanju superpozicije (neporemećene evolucije) prije nego što valna funkcija kolabira? To danas nitko ne zna.

Prostor ovog teksta ne dozvoljava detaljniju analizu navedenih teorija, ali nam se čini dovoljnim da se naznači dubinska razlika između njih. Dakako, neko bi mogao dati primjedbu, kako se radi o dvije konzistentne teorije koje opisuju različite realnosti, Opća teorija – makrokozmos, a kvantna – mikrokozmos te bi to mogao biti izlazak iz nesuglasica i krize fundamentalne znanosti. No, moramo napomenuti kako problemi nisu u matematičkom formalizmu i interpretaciji nego i samoj biti fizičke realnosti koja se želi opisati. Navedimo samo dva primjera a to je „singularitet“ i „lokalnost“, a posebice ova druga osobina na koju je Einstein naročito obratio pozornost.

Da pojasnimo, singularitet, prema Općoj teoriji relativnosti je njezin sastavni dio te opis ga predviđa, tj. mogućnost postojanja materijalne točke koja bi u konačnici evoluirala u „crnu rupu“, a što se tiče drugog pojma, lokalnost, ona je u fundamentu teorije relativnosti tj. činjenica kako se ni jedna informacija, međudjelovanje ne može prostirati većom brzinom od brzine svjetlosti. Konstantna i maksimalna brzina svjetlosti predstavlja jedan od postulata na kojoj se gradila teorija relativnosti, posebice Specijalna teorija relativnosti.

Za kvantnu mehaniku singularitet nije moguć, a principijelno ona je teorija kojoj imanentna pripada ne-lokalnost, koju možemo definirati da u određenim situacijama dolazi do trenutne promijene stanja na proizvoljno velikoj udaljenosti.

POKUŠAJ RJEŠAVANJE KRIZE

Einstein je potpuno odbacivao mogućnost postojanja ne-lokalnosti, koja je po njemu posljedica toga što mi ne možemo shvatiti dublju vezu fenomena koji se manifestiraju preko kvantne mehanike, odnosno da postoje skrivene varijable koje se ponašaju prema principima lokalne teorije. Takvu teoriju se zove *lokalna teorija skrivenih varijabli (local hidden-variable theory, LHVT)*. Sukladno s tim on je 1935. zajedno sa dvojicom suradnika, Borisom Podolskym i Nathanom Rosenom, objavio rad koji je trebao jasno ukazati na manjkavost kvantne teoriji, posljedično, njene nepotpunosti.

Oni smišljaju misaoni pokus koji će pokazati da kvantna teorija ne može opisati stvarnost bez unutarnjih proturječja. Posebice se to odnosi na problem mjerenja, na primjer ako na početku imamo dva elektrona ili dva fotona s ukupnom količinom gibanja nula, tada, nakon što su simetrično upućeni na suprotne strane svijeta, ali ne znamo na kojem pravcu, imamo spoznaju kako njihov zbroj količina gibanja uvijek ostaje nula, zbog njihova suprotna gibanja. Odavde slijedi da mjerenjem jednog od njih utvrđujemo istodobno i na daljinu količinu gibanja onog drugog, iako on mogu biti svjetlosnim milenijima daleko.

Rad izlazi 1935. godine pod originalnim nazivom “Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?” – *Da li se kvantno-mehanički opis realnosti može smatrati kompletnim?* (A. Einstein, B. Podolski, N. Rosen, 1996) Članak je po svojoj formi relativno kratak, svega četiri strane, ali je efekt koji je proizveo nesumjerljiv. Na početku rada autori se bave općim pitanjem kompletnosti znanstvene teorije. Uvode osnovni uvjet koji mora da ispuni svaka znanstvena teorija ako želi biti kompletna, a on se formulira na sljedeći način: *Svatom elementu fizičke realnosti mora odgovarati neki element u fizičkoj teoriji.* Ova tvrdnja nema smisla ukoliko se ne definira pojam elementa fizičke realnosti.

Autori ovdje uvode svoje kriterije fizičke realnosti koji je kamen temeljac cijele naredne priče definiraju na sljedeći način: *Ako, bez da na ikoji način poremetimo sustav, možemo sa sigurnošću predvidjeti vrijednost fizičke veličine, onda postoji element fizičke realnosti koji odgovara toj fizičkoj veličini.*

Odavde slijede dvije tvrdnje od kojih mora da važi jedna od navedenih a to su:

1) *Kvantno-mehanički opis realnosti koji daje valna funkcija nije kompletan;*
 2) *Kada operatori dvije fizičke veličine ne komutiraju, te dvije veličine ne mogu istovremeno posjedovati realnost.*

Pobornici kvantne mehanike se ne slažu sa prvom tvrdnjom, tako da im ostaje druga, a sada slijedi glavni dio rada, u koji mi iz objektivnih razloga ne možemo ulaziti, da se konstruiraju stanja za koje ne važi druga tvrdnja i onda slijedi zaključak da je istinita prva, tj. kvantna mehanika nije kompletna.

To je suprotno onom što tvrdi Bohr da je za mjerenje osobina čestice potrebno izravno i uzajamno djelovati s njom. Dakle, paradoks. Međutim Bohra taj argument uopće nije uznemirio, jer su čestice povezane jednom nedjeljivom, uvezanom valnom funkcijom i mjerenjem jedne čestice nastaje kolaps cijele, zajedničke valne funkcije. Na taj način je trenutno dobiven podatak i o drugoj čestici, iako je ona izvan dosega signala koji se prenosi brzinom svjetlosti, prema Specijalnoj teoriji relativnosti, najvećom mogućom brzinom prijenosa signala. Kažemo da su takve čestice kvantno uvezane.

Razmotrimo još i slijedeću inačicu EPR pokusa. Neka je dovoljno izolirani atom iz udaljenog međuzvjezdanog prostora u nekom trenutku iz sebe izbacio foton. S obzirom da je foton bio dobro lokaliziran u malenom području veličine

atoma, njegov je impuls praktički potpuno neodređen, foton se širi na sve strane, a stanje njegova impulsa je radialno simetrična valna funkcija, dakle s potpuno ravnopravnim smjerovima gibanja (ne uzimajući u obzir stanje polarizacije).

Ukupni je impuls sustava: (*atom nakon emisije + foton*) jednak nuli. I svaki podsustav, atom i foton pojedinačno, iz razloga radialne simetrije, također ima impuls jednak nuli. Nakon vrlo dugo vremena, recimo 100 godina, jedan sićušan dio rasprostranjenog kružnog elektromagnetskog vala polumjera 100 svjetlosnih godina dolazi do nas na Zemlji u naš detekcijski uređaj. Ali, kao što znamo, «klik» našeg detektora ne znači da smo uhvatili dio nego cijeli foton. To je ono što smo nazvali kvantnim skokom u točku – trenutnim kolapsom kvanta iz područja polumjera 100 svjetlosnih godina u točku. Kako je cijeli foton udario u naš uređaj koji ga je uhvatio iz određenog smjera, detektor je otrpio trzaj na smjeru atom-detektor.

Sada, da bi zakon očuvanja impulsa bio sačuvan, mora biti da je «istodobno» (očito ne u smislu Specijalne teorije relativnosti) atom doživio jednak trzaj na suprotnu stranu. Kako je atom «znao» da treba trznuti kad je prošlo 100 godina od emisije fotona? To znači da su atom i foton opisani jednom zajedničkom kvantno uvezanom valnom funkcijom. Kolaps se morao dogoditi i kod detektora i kod atoma istodobno kao da prostor i vrijeme između njih uopće ne postoji. Za Einsteina ovakva je situacija neodrživa nego postoje skriveni parametri koji su već odredili vrijednost mjerenih veličina, a nama se čini kako do odluke dolazi u trenutku mjerenja.

Mogli bismo reći da je osnovno pitanje oko kog se ne slažu zagovornici standardne kvantne teorije i zagovornici teorija skrivenih varijabli pitanje interpretacije superpozicije. Oni na strani kvantne mehanike smatraju da je kvantna teorija kompletna, i da su osobine sustava čije je stanje predstavljeno superpozicijom neodređene. Sa druge strane, pobornici skrivenih varijabli tvrde da je kvantno-mehanički opis nekompletna. Po njima, osobine sustava imaju definiranu vrijednost sve vrijeme, pa i kad je sistem u superpoziciji.

Situacija je mogla da se razriješi samo eksperimentom, ali originalna postavka EPR efekta bila je eksperimentalno neizvodljiva. Razne modifikacije ovih postavki, posebice Bohmovih i drugih autora dovelo je do mogućnosti eksperimentalne odredljivosti samih postavki i u kratkim crtama obratimo pozornost na rezultate tih eksperimenata.

Navedimo kao prvo postavljanje takozvane Bellove teoreme³ (Bell 1964:195) koja je sadržana u uvjetu koje moraju zadovoljavati lokalne teorije skrivenih

³ O Bellovom teoremu pogledajte detaljnije u A. I. M. Rae, *Quantum Mechanics Illusion or Reality?* CUP, Cambridge, 2000. Ili u J. S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, CUP, Cambridge, 1987.

varijable, čime bi bilo moguće i eksperimentalno utvrditi razliku u predviđanju dviju konceptualno različitih teorija. Bellova nejednakost je konstruirana za teorije skrivenih varijabli koje počivaju na dvjema pretpostavkama – lokalnosti i realizmu. Pretpostavka o lokalnosti se ogleda u tvrdnji da mjerenje izvršeno na jednom sustavu ni na koji način ne može da utiče na drugi sustav ukoliko ta dva sustava ne integriraju. Pretpostavka realizma, u suštini, tvrdi da čestice posjeduju definirane osobine neovisno od toga da li su promatrane ili ne. Eksperimenti koju su kasnije obavljani stali su u prilog standardne interpretacije kvantne mehanike, odnosno činjenici da ne postoje skriveni parametri, odnosno kvantna teorija i procesi su inherentno ne-lokalne teorije.

Poboljšani eksperimenti su dani u nejednakosti Leggettija, u duhu Bellovih predviđanja, koje zadovoljavaju sve teorije skrivenih varijabli i koje se oslanjaju na pretpostavku realizma. Nelokalne interakcije su u ovom slučaju bile do velikog stupnja dopuštene. Slično kao i kod Bellovih nejednakosti, kvantna mehanika je i ove nejednakosti narušavala. Prvi test Leggettovih (Leggett–Garg: Wikipedia) nejednakosti izvršili su M. Aspelmeyer i A. Zellinger sa suradnicima 2007., a najnoviji test je izvršen od strane H. Romera i suradnika tokom 2010. godine. Oba su potvrdila predviđanja kvantne teorije i na taj način su isključili iz igre širok spektar lokalnih teorija zasnovanih na realizmu.

No, ono što je ovdje bitno naglasiti kako ovim eksperimentima i teorijskim razmatranjima nije riješen problem jedinstva fizike i kriza, tj. konceptualno nejedinstvo između kvantne mehanike i Einsteinovog stava i dalje ostaje. Možda pretpostavka o postojanju skrivenih varijabli nije polučila rezultate, ali njezina osnovna ideja koja ležu u jednom jedinstvenom opisu svijeta ostaje i dalje kao prioritet u rješanju krize.

Jedinstvo ovih teorija pokušava se naći u jednom drugom konceptu koji se zove *Teorija struna*, čija je glavna ideja kako osnovu svijeta ne čine čestice nego otvorene i zatvorene strune čije će titranje i dinamičko stanje u višedimenzionalnom realnom prostoru dati jedinstvo svih fenomena. Nemoguće je da dublje ulazimo u implikacije ove teorije, ali možemo napomenuti kako bez obzira na njenu eventualnu matematičku konzistentnost, ta teorija je u konačnici eksperimentalno ne odredljiva, što zanoči kako je fundamentalna fizika ovakvog tipa prešla Rubikon sa obale fizike na obale „metafizike“ i teorijske spekulacije.

ZAKLJUČAK

Ovaj kratki osvrt na stanje fundamentalne znanosti koja je uobličena u fizikalnoj teoriji početkom ovog stoljeća i dvadesetog vijeka, pokušao je naznačiti njezinu duboku krizu. Namjerno koristimo izraz fundamentalna znanost, jer ona govori o osnovnim zakonima prirode i kao takva ima tendenciju da iznese opći

okvir o postojanju svijeta. Sve ostale znanosti, mislim na prirodne znanosti u užem smislu, su po svom su predmetu proučavanja parcijalne pa nemaju tendenciju niti mogućnost pružiti kompletnu sliku Svijeta.

Kao što je poznato, do početka dvadesetog stoljeća Newtonova klasična fizika, ili njezine interpretacije stvorile su jedan opći okvir objašnjenja osnovnih zakona prirode, koji je bio konzistentan ali sa odgovarajućim neslaganjima oko nekih fizikalnih fenomena. Govoreći jezikom T. Kuhna, ova neslaganja sa određenim eksperimentalnim rezultatima dovela su, početkom dvadesetog stoljeća, do revolucionarnih promjena paradigme uobličene u dvije nove teorije; Einsteinovu Specijalnu i Opću teoriju relativnosti i kvantnu mehaniku čiji su pokretači N. Bohr i W. Heisenberg. Prva paradigma, odnosno teorija relativnosti, napravila je korijenite promijene u definiranju i razumijevanju osnovnih fizikalnih pojmova kao što su prostorno-vremenski odnosi i temeljni principi invarijantnosti, a druga, odnosno kvantna mehanika, mijenja opći stav prema fizikalnim objektima mikroskopskog svijeta, odnosa prema determinizmu i ulozu promatrača u procesu mjerenja.

Trebalo bi očekivati da su ova dva pristupa otvorili put ka jednoj novoj općoj teoriji, ali u samom početku dolazi do potpunog razilaženja ova dva koncepta. Tako možemo reći kako ove dvije teorije idu svojim putem razvoja koji su u mnogim točkama nesumjerljivi, a što stavlja pod upitnost mogućnosti stvaranja jedne univerzalne slike Svijeta. Relativna pomirba je pronađena u predmetu opisa, dok je Opća teorija zadužena za opis makro-kozmosa, to je kvantna fizika zadužena za opis mikro-kozmosa. No, ovo je samo prividno prikrilo problem jer su razlike između ovih dviju teorija kako na ontološkoj tako i na epistemološkoj i metodološkoj razini.

Razlika između ova dva, tako nazovimo, koncepta je ontološke prirode, tj. u odnosu prema samoj biti stvarnosti. U radu smo naveli samo neke od razlika, tako na primjer; Heisenbergova relacija neodređenosti implicirala je indeterminizam u opisu kvantnih objekata, a što je za Einsteina i ostale istomišljenike, koji su pobornici determinističkog pristupa, bilo ne prihvatljivo kao moguće objektivno stanje stvari.

Drugi primjer je „nelokalnost“ koja je imanentna kvantnoj mehanici i direktno je suprotna Einsteinov postuliranoj tezi u teoriji relativnosti o „lokalnosti“, odnosno tezi kako se niti jedna interakcija ili informacija ne može prenositi većom brzinom od brzine svjetlosti itd. Da bi se riješio ovaj problem Einstein, sa svojim suradnicima, pokušao dokazati da je kvantna mehanika nepotpuna kao teorija odnosno da postoji svijet skrivenih varijabli, a navedene nesuglasice su posljedica upravo ove nepotpunosti. Eksperimenti koji su vršeni u svrhu potvrđivanja ove Einsteinove teze pokazale su kako je kvantna mehanika imanentno ne-lokalna teorija, tj. da ne postoje skrivene varijable. No, time ne samo da nije

riješen problem nego je potvrdio razliku između dvije ontologije, odnosno dva pristupa prema realnosti.

Daljini razvoj ovih dviju teorija, do današnjih dana nije uspio premostiti jaz između ova dva stava. Na drugoj strani niti jedan od ova dva puta nije uspio doćići onu općenitost koja bi dala jedinstvenu sliku Svijeta. Kriza fundamentalne znanosti se nastavlja i traži nova rješenja, ako su ona moguća?

LITERATURA

- BELL, J. S. 1964. *Physics Vol. 1, No.3*, pp. 195–200.
- BELL, J. S. 1987. *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*, collected papers in quantum mechanics, CUP, Cambridge
- EINSTEIN, A.; PODOLSKI, B.; ROSEN, N. 1935. *Phys. Rev.* 47, 777–780.
- KUZNJEKOV, B. G. 1975. *Ajnštajn*, II. sv. Minerva, Subotica–Beograd
- LEGGET-GARG, inequality, Wikipedia, the free encyclopedia, (http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)
- RAE, A. I. M. 2000. *Quantum Mechanics Illusion or Reality?* CUP, Cambridge

The Crisis of Fundamental Sciences

Fundamental sciences study the elementary laws of nature, which is primarily physics and other related sciences. The status of these sciences determines the plausibility of our knowledge and presupposes the directions and perspectives of further development. The analysis of the present-day state, i.e. the recent decades of fundamental sciences, shows that there are certain indications of crisis. These indications are of different origins, some of which are: methodological, epistemological, ontological and pragmatic.

The beginning of the last century faced a paradigmatic change of fundamental sciences as a result of Einstein's special and general theory of relativity as well as of Bohr's and Heisenberg's quantum mechanics. These two concepts are not compatible in several parts, and the further development of science aimed to reconcile these two worldviews and to give a unified theory. The development of quantum mechanics and general theory of relativity, particularly in the interpretation of modern cosmology, demonstrated certain weaknesses, both in specific concepts and in the possibility of their uniting, e.g. the string theory. This leads to the conclusion that a certain crisis is evident, and if these predictions are correct, a simple question arises: is it the end of fundamental science in sight, and alongside with that, the end of sciences in general, or is it a new beginning?

Key words: Special and general theory of relativity, quantum mechanics, contemporary cosmology, string theory, implicate order

Az alaptudományok válsága

Az alaptudományok a természet alaptörvényeit kutatják, s ide tartozik mindenekeelőtt a fizika meg a rokon tudományágak. E tudományterületek státusa határozza meg tudásunk plauzibilitását, és feltételezi a további fejlődés irányait és kilátásait. Az alaptudományok mostani állapotának, pontosabban az utóbbi tíz év helyzetének elemzése bizonyítja, hogy abban a válság bizonyos jelei tapasztalhatók. A válság jeleinek eltérő gyökerei vannak, például módszertani, episztemológiai, ontológiai és pragmatikus alapjai.

A múlt század elején paradigmátikus változás állt be az Einstein általános és speciális relativitáselmélete, valamint a Bohr és Heisenberg kvantummechanikája által körvonalazott alaptudományokban. E két koncepció több részletében nem kompatibilis, s a tudományok további fejlődésének célja volt, hogy összehékitse e két létszemléletet, s egy egységes elméletet fogalmazzon meg. A kvantummechanika, valamint az általános relativitáselmélet fejlődése – különösen a modern kozmológia értelmezésében – bizonyos fogyatékoságokról adott jelt, mind az egyes koncepciók, mind azok egyesítésének lehetősége vonatkozásában; ilyen például a húrelmélet. Mindez ahhoz a következtetéshez vezet, hogy bizonyos válság keletkezett, s amennyiben ez a diagnózis helytálló, felmerül az egyszerű kérdés: vajon az alaptudományok alkonya van-e láthatáron, s azzal egyetemben pedig a tudományoké, vagy egy új kezdettel szembesülünk?

Kulcsszavak: általános és speciális relativitáselmélet, kvantummechanika, modern kozmológia, húrelmélet, implicit sor

Beérkezés időpontja: 2014. 10. 25.

Közlésre elfogadva: 2014. 11. 30.