

TRNOVIT  
PUT DO  
HIGSOVOG  
BOZONA



# TRNOVIT PUT DO HIGSOVOG BOZONA

granice savremene fizike

Slobodan Perović



Slobodan Perović:  
TRNOVIT PUT DO HIGSOVOG BOZONA  
– GRANICE SAVREMENE FIZIKE

Copyright © 2014 by Slobodan Perović  
Copyright © 2014. za srpsko izdanje, Heliks

*Izdavač*

Heliks

*Za izdavača*

Brankica Stojanović

*Lektor*

Vesna Đukić

*Recenzenti*

Milan M. Ćirković

Boris Kožnjak

Živan Lazović

*Štampa*

Newpress, Smederevo

*Tiraž*

1000 primeraka

Prvo izdanje

Knjiga je složena  
tipografskim pismima  
*Minion Pro i Metro Nova Pro*

ISBN: 978-86-86059-47-5

Smederevo, 2014.

[www.heliks.rs](http://www.heliks.rs)

# Sadržaj

|  |           |
|--|-----------|
| <i>O onome što se ne vidi u fizici čestica. . . . .</i>  | <i>7</i>  |
| <b>1. Uvod . . . . .</b>   | <b>15</b> |
| <b>2. Početna ograničenja nauke i eksperimenti . . . . .</b>   | <b>25</b> |
| Ekonomija . . . . .  | 25        |
| Tehnologija . . . . .  | 27        |
| Društvena organizacija . . . . .   | 28        |
| Teorija . . . . .  | 30        |
| <b>3. Uspešan model suočavanja s graničnim uslovima:<br/>primer kvantne teorije . . . . .</b>                      | <b>32</b> |
| Bekonovski duh istraživanja . . . . .  | 33        |
| Eksperimenti koji oblikuju teoriju . . . . .   | 33        |
| Raznovrsno eksperimentisanje i pojava teorije . . . . .  | 37        |
| Eksperimentalni ciklusi u istoriji kvantne mehanike:<br>robusna i nerobusna eksperimentalna raznovrsnost . . . . . | 41        |
| Formulisanje kvantne teorije: epistemološka i ontološka<br>raznovrsnost . . . . .                                  | 51        |
| Zaključak: epistemološki kontekst eksperimenata<br>u kvantnoj mehanici . . . . .                                   | 54        |
| <b>4. Fizika čestica visokih energija posle Drugog<br/>svetskog rata – novi epistemološki kontekst . . . . .</b>   | <b>57</b> |
| Novi granični uslovi i novi dometi . . . . .   | 60        |
| Novi teorijski uspesi . . . . .  | 60        |
| Nove granice energija i novi ekonomski resursi:<br>imperativ snage . . . . .                                       | 61        |
| Snaga na račun eksperimentalne raznolikosti: slučaj Fermilaba . . . . .  | 63        |
| Rani stadijum . . . . .  | 63        |
| Velika nauka: nekoliko dugogodišnjih eksperimenata . . . . .   | 69        |

|   |            |
|---|------------|
| Meganauka: visoke energije, fokusiran i dugotrajan<br>eksperiment na kolajderu. . . . .                               | 70         |
| Princip „maksimalna snaga sada“ na račun posmatračke<br>preciznosti i neposrednosti. . . . .                          | 73         |
| Epistemološki kompromisi uslovljeni ogromnom<br>količinom podataka. . . . .   | 75         |
| Detekcija koja se suočava s velikim brojem<br>sekundarnih interakcija . . . . .                                       | 75         |
| Ako iko posmatra, ko to čini? Automatizacija detekcije<br>i postepeno uklanjanje eksperimentatora . . . . .           | 76         |
| Efikasna potvrda hipoteza na račun kreativnog istraživanja . . . . .  | 81         |
| Ko poseduje znanje? Centralizacija laboratorija<br>i hiperumreženost saradnika. . . . .                               | 83         |
| Sve manje teorijskih uvida usled epistemoloških<br>kompromisa: previđanje anomalija i teorijskih alternativa. . . . . | 84         |
| Novi putevi ka evidenciji. . . . .  | 88         |
| Tradicionalni eksperimenti: izbegavanje opterećenosti<br>evidencije teorijom po svaku cenu . . . . .                  | 88         |
| Otkriće J/psi čestice . . . . .   | 92         |
| Kalibracija instrumenata i izbegavanje začaranog<br>kruga evidencije. . . . .   | 97         |
| Merenje mase Higsovog bozona i kalibracija velikog<br>hadronskog kolajdera . . . . .                                  | 101        |
| Evidencione petlje: zašto izbegavati opterećenost<br>teorijom u fizici visokih energija? . . . . .                    | 109        |
| Zaključak: epistemološki kontekst eksperimentisanja<br>na visokim energijama . . . . .                                | 112        |
| <b>5. Da li je herojski period fizike čestica završen? . . . . .</b>  | <b>115</b> |
| Percepcija krize u fizici: Smolinov argument i njegovi<br>prethodnici . . . . .                                       | 115        |
| Da li smo dosegli granice fizike? Lekcije iz<br>epistemološkog konteksta fizike visokih energija. . . . .             | 119        |
| <i>Reference</i> . . . . .  | 123        |
| <i>O autoru</i> . . . . .   | 128        |

# O onome što se ne vidi u fizici čestica

Nevidljivi sklop jači je od vidljivog.

– Heraklit iz Efesa, oko 500. pre n.e.

Kada sam radeći na svojoj doktorskoj dizertaciji, učinio prvi korak na putu naučničke karijere, uvideo sam da se svaka pojedinačna nauka može shvatiti i prozreti do dna samo onda, ako se upozna i njen postanak i postepeni razvitak do savremenog stanja.

– Milutin Milanković, *Dvadeset dva veka hemije* (1953)

FIZIKA elementarnih čestica se često doživljava kao nešto samo po sebi egzotično – pa i ezoterično – kao oblast nauke čiji su rezultati nedostupni „neposvećenim“ laicima. Nasuprot takvoj predrasudi, u jednoj značajnoj tradiciji u popularnonaučnoj literaturi pokušalo se, a i dalje se pokušava, da se vrhunska postignuća fizike 20. i 21. veka predstave na pristupačan, razumljiv i ne-tehnički način. Možemo reći da ta vrsta literature, gde nalazimo na knjige Brajana Grina, Mičija Kakua, Leonarda Saskinda i drugih, otvara pogled na vidljivo blago saznanja koje su nam donele avanture u fizici čestica i kvantnoj teoriji polja. Međutim, još je znatno ređa ona vrsta knjiga koje, poput ove koju držite u rukama, objašnjavaju ono što se nalazi na još dubljem nivou od toga, ono što otkriva heraklitovski nevidljivi sklop koji leži u pozadini naših otkrića u svetu kvarkova i leptona.

U knjizi „Trnovit put do Higsovog bozona: granice savremene fizike“ prof. Slobodan Perović bavi se splotom istorijskih i filozofskih pitanja koja se odnose na strukturu standardnog modela fizike elementarnih čestica, verovatno najuspešnije savremene fizičke teorije. Nakon pobedonosnog otkrića Higsovog bozona 2012. godine, standardni model je postao poznat i van uskog kruga stručnjaka u teorijskoj i eksperimentalnoj fizici čestica i na putu je da zauzme sličan status kakav teorija relativnosti ili kvantna mehanika već imaju i u svakodnevnom diskursu ili pop-kulturi. Istovremeno, značajno je poraslo interesovanje za epistemološke i metodološke aspekte ne samo teorijske fizike elementarnih čestica, već i za oblasti kao što su fizika i tehnologija akceleratora koje se tradicionalno nisu smatrale značajnim delom diskursa u filozofiji nauke. Razlozi za to su višestruki i mogu se delimično naći u otporu filozofskog establišmenta prema analizi onoga što je percipirano kao „prljava“ tehnologija, delimično u opštem konzervativizmu prema tehničkim oblastima koje se razvijaju velikom brzinom i za čije razumevanje je potrebno značajno specijalističko znanje (treba imati u vidu da se, na primer, uprkos filozofskim aspiracijama Tjuringa ili Vinera, ozbiljna filozofska analiza računara i računarskih nauka počela pojavljivati tek u poslednjih desetak godina, iako je ta vrsta mašina čak i znatno starija od onih koje se koriste u eksperimentalnoj fizici elementarnih čestica). S druge strane, kao deo „velike nauke“, tj. deo naučnih istraživanja za koji su neophodna značajna finansijska ulaganja, pa prema tome i na jedan ili drugi način ostvaruje povećani uticaj na društvo, razvitak akceleratora čestica predstavlja značajan istorijski i društveni fenomen koji nije na pravi način analiziran ni u domenu istorijskih i socioloških nauka. Sve to pokazuje potrebu za istraživačkom – ali i uvodnom udžbeničkom – literaturom o ovome, koje nedostaje kako na svetskom tržištu, tako posebno i na domaćem tržištu.

Međutim, to je samo početak motivacije za pisanje i objavljivanje knjige ovog tipa. Jedna vrsta pažnje koju je eksplozivni razvitak teorijske i eksperimentalne fizike, naročito u tradicionalno redukcioniističkom domenu kakav je fizika čestica, nažalost privukao, svakako je



ona koja se nalazi u direktnom konfliktu ne samo s naučnom metodologijom, već i sa samim razumom i vrednostima doba prosvetiteljstva: to su različiti izlivi postmodernističkog, dekonstrukcionističkog i drugih oblika malignog kvazifilozofskog iracionalizma dokumentovani, npr. u knjizi *Uzvišeno sujeverje* Pola Grosa i Normana Levita (1994), i do svojevrsnog logičkog završetka dovedeni u slavnoj „podvali“ Alana Sokala iz 1996. godine. Suprotstavljanje ovoj tendenciji još jedan je od zadataka koji stoje pred savremenim filozofima nauke koji drže do intelektualnog i moralnog integriteta. Knjige kao što je ova prof. Perovića predstavljaju poželjan antitoksin i u ovom smislu. Naročito je ovo delo značajno zbog toga što se autor ne libi da razmatra vannaučna ograničenja naučnog rada, poput onih ekonomske prirode (zaista, čitavo poglavlje u uvodnom delu posvećeno je ekonomiji eksperimenata u fizici visokih energija), koja su se do sada smatrala isključivim zabranom postmodernističkih „studija nauke i tehnologije“. Već sama činjenica da se na više mesta u ovoj knjizi demonstrira kako se o problemima u odnosu vannaučnih i naučnih faktora može govoriti na racionalan i ideologijom neopterećen način, jeste pažnje vredna vrлина koja je preporučuje svakom ozbiljnom čitaocu.

Glavno težište izlaganja u knjizi leži na epistemologiji standardnog modela i, naročito, eksperimenata koji ga potkrepljuju. Ova tema je izuzetno značajna ne samo za filozofiju fizike, već i za celinu filozofije nauke gde, nažalost, nemamo ozbiljniju tradiciju. Suočavajući se direktno s najaktivnijom oblašću fizike 20. veka – i početka ovog 21. veka koji je, kako pokazuje otkriće Higsovog bozona, uprkos skepticizmu mnogih da se tempo otkrića i novih uvida ne može nastaviti, i dalje u znaku fizike mikrosveta – knjiga prof. Perovića je zašla u središte najznačajnijih diskusija u filozofiji fizike i na jasan i objektivčan način sumira bitne sastojke neophodne za razumevanje čitave scene, a tim pre za dalje istraživanje u ovom smeru. Nakon uvodnog poglavlja u kome pregledno prikazuje glavna ograničenja, ekonomska, društvena, tehnološka i teorijska koja su se pred razvitak našeg razumevanja elementarnih čestica postavila u savremenoj istoriji

fizike, autor najpre razmatra (poglavlje II) epistemologiju kvantne mehanike kakva je proizašla iz revolucije Planka, Bora, Ajnštajna, Šredingera, Hajzenberga i drugih titana fizike prve polovine 20. veka. Centralni deo knjige je poglavlje IV koje dijahronički obrađuje istorijske, eksperimentalne i teorijske postavke standardnog modela fizike čestica, uz brojne relevantne studije slučaja. Konačno, neka pitanja koja ovaj provokativni pristup postavlja sumirana su u završnom poglavlju.

U ovoj knjizi, dakle, autor razmatra različite perspektive odnosa teorije i eksperimenta koje su postojale u postpozitivističkoj epistemologiji 20. veka, nakon čega će, sa snažnom motivacijom koja potiče iz studija slučaja u istoriji standardnog modela, pristupiti konstruktivnom i plodotvornom dijalogu s verovatno najznačajnijim pojedinačnim stavom ove epistemologije, naime tvrdnji o opterećenosti eksperimenta teorijom, kao i pokušajima da se takva situacija, koja karakteriše naučni metod od Bekonovog doba do danas, na izvestan način prevaziđe. Konkretno strategije i taktike koje su na površinu izronile tokom proteklih sedamdesetak godina obeleženih našim pokušajima da razumemo mikrosvet u njegovim najmanjim – i bar u nekim verzijama, „najsuštinskijim“ – materijalnim delovima, predstavljaju uspone, padove i zaokrete na tom putu. Neki od zaključaka do kojih autor dolazi su u tenziji s konvencionalnim razumevanjem odnosa teorije i eksperimenta, te svakako predstavljaju originalni doprinos ovoj značajnoj temi.

Dramatičan razvitak fizike tokom 20. veka bio je motivisan veoma komplikovanim istorijskim razvojem, kako u samoj fizici, tako i u drugim oblastima nauke, pa i u ljudskom društvu u celini. Autor u ovoj knjizi daje interesantnu novu perspektivu nastanka kvantne mehanike kao teorijske osnove za čitavu fiziku mikrosveta. Dok je kvantna mehanika izvor brojnih filozofskih problema i zagonetki, koji se najčešće koncentrišu na ontološke aspekte kvantnih entiteta, naročito talasne funkcije, ovde imamo posla s potpuno drugačijom perspektivom. Autor pokazuje u kojoj meri je od samih početaka, dakle od epohe Planka i Bora, eksperimentalna tehnologija igrala

veću ulogu nego što se obično pretpostavlja (i nego što se na standardnim kursevima kvantne mehanike uči!), što se prenelo i na docnije derivate kvantne mehanike kao što su kvantna teorija polja, kvantna statistička fizika i, naročito i najznačajnije s nama zanimljivog staništa, fizika elementarnih čestica.

Već sam izuzetni i nesumnjivi uspeh standardnog modela fizike čestica postavlja pred filozofa nauke brojna pitanja. Da li je ova teorija – koja bar na efektivnom nivou odgovara na neka od najstarijih filozofskih pitanja postavljenih još u doba predsokratovaca – tipična fizička teorija ili samo „izuzetak koji potvrđuje pravilo“? Da li su partikularne osobine standardnog modela proizvod regularnog razvitka fizike kao nauke (i kao takve na izvestan način predvidljive iz stanja našeg fizičkog uvida, recimo u 1950. godini) – ili se radi o osobinama koje su proizvod istorijske kontingencije, sticaja okolnosti koji se ne može nikada u potpunosti kauzalno raščlaniti? U potonjem slučaju, pre ili kasnije bili bismo prinuđeni da zaključimo kako je uklapanje standardnog modela u naše postpozitivističke paradigme izgradnje i razvoja teorije, koje zastupaju kako mnogi fizičari, tako i filozofi fizike, ili slučajnost ili *prived*, nastao pod uticajem naših kognitivnih neobjektivnosti, poput *confirmation biasa*. Ovakav stav čini se teško održiv, posebno nakon spektakularnog otkrića Higsovog bozona u velikom hadronskom kolajderu u CERN-u 2012. godine. Međutim, već sâm tok događaja u vezi s ovim otkrićem (za koje je, efektivno, bilo potrebno skoro godinu dana da bi bilo „potvrđeno“ u skladu sa standardima za koje se smatralo da su dovoljno visoki) provocira čitav niz filozofski zanimljivih pitanja, jer je čak i potpunom laiku koji je pratio medijske prikaze ovih događaja postalo jasno da je kontekst otkrića u savremenoj fizici čestica veoma, veoma daleko od onoga na šta smo navikli u dosadašnjoj istoriji fizike. I to se ne odnosi samo na eksperimente na onaj način na koji su shvatani u doba velikih eksperimentalnih fizičara iz prošlosti kao što su bili Faradej, Herc, Raderford ili Fermi, već i na otkrića u samom domenu fizike čestica iz bliže prošlosti. Otkriće narušenja CP simetrije, otkriće  $J/\psi$  bozona, otkriće top kvarka – na svakom koraku su se pokazivale sve veće i

veće razlike od onog epistemološkog modela koji se smatrao zadovoljavajućim za klasične laboratorijske (ili, kako autor knjige često navodi, „kuhinjske“) eksperimente. Elaborirati tu razliku i identifikovati bar neke faktore zbog kojih je do ovog značajnog pomaka došlo, glavni je zadatak knjige prof. Perovića.

Samim tim, razmatranje alternativnih načina na koji se mogla odvijati istorija fizike čestica u drugoj polovini 20. veka i na početku 21. veka jeste legitimna tema istraživanja (na isti način na koji je metoda „virtuelne istorije“ Nila Fergusona, Roberta Kaulija i drugih postala značajna i aktuelna u poslednjih nekoliko decenija). Perović spekulise o onome što pojedini autori (poput Lija Smolina, Šeldona Glašoua i drugih) nazivaju savremenom krizom fizike i ulogom eksperimentalne tehnologije u njoj. Tendencija smanjenja raznolikosti u eksperimentima, što je istorijski proces na koji autor skreće pažnju, kao i fokusiranje na postizanje što viših energija u kolajderima, svakako su doveli do stanja koje pojedini autori karakterišu kao krizno, iako bi se moglo argumentovati da je to delimično posledica selekcionih efekata i povećanja varijanse karakterističnog za sve evolutivne procese. U svakom slučaju, autor opravdano skreće pažnju na umanjene inovativnosti kako na eksperimentalnom, tako i na teorijskom planu.

Naravno, glavni nedostatak knjige jeste to što je isuviše kratka, pa je u tom formatu nemoguće pokriti sve aspekte problema. Naročito se to odnosi na završno poglavlje posvećeno mogućim „alternativnim istorijama“ fizike, te odgovorima na stvarnu ili izmišljenu krizu fizike. Ovo, međutim, ostavlja nadu da bi isti autor u narednoj knjizi mogao da nastavi izlaganje na tom mestu, obogaćeno eventualnim aktuelnim događajima i njihovim posledicama.

Dodatna vrlina knjige jeste to što ona delimično služi kao uvod u savremenu fiziku elementarnih čestica i akceleratoru fiziku, posebno za studente filozofije i drugih prirodnih nauka koji s ovom značajnom temom iz istorije nauke nisu upoznati. S obzirom na činjenicu da je broj knjiga na srpskom jeziku i drugim jezicima bivše Jugoslavije, bilo autorskih bilo u prevodu, o ovim temama do sada

bio jako mali – i bez mnogo izgleda da se to stanje uskoro promeni, kad se ima u vidu tragična situacija u domaćem izdavaštvu – ovo je svakako značajna motivacija.

Knjiga je pisana živahnim stilom koji je osveženje u domaćoj filozofskoj literaturi i ona je dobrodošla provokacija za samostalno razmišljanje i rad na filozofskim i istorijskim problemima u savremenoj fizici, koji su velikim delom i dalje nerešeni. Upravo je otvorenost ovog teksta značajna za ukorenjivanje nove svesti o prirodi filozofskog istraživanja koja je i te kako potrebna na našim prostorima. Literatura je ekstenzivna i predstavlja mešavinu primarnih publikacija iz relevantnih fizičkih časopisa, klasičnih referenci koje su i dalje zadržale vrednost za savremenog čitaoca (kao što je Paisova istorija ili Hekin-  
gov uvod u filozofiju fizike) i savremenih rezultata iz epistemologije i filozofije nauke u kojima se preispituju utvrđeni stavovi.

Knjiga prof. Perovića predstavlja izuzetno vredan doprinos još uvek veoma siromašnoj literaturi posvećenoj filozofiji fizike i srodnih naučnih disciplina. Ostaje samo da se ponadamo da će se uskoro pojaviti još takvih izdanja koja će uticati na formiranje kritične mase za uspešno i plodotvorno bavljenje ovim pitanjima od najdubljeg intelektualnog značaja. Otkrivanje skrivenog sklopa stvari večita je odiseja u okviru koje se uvek podsećamo na istinske duhovne vrednosti koje deli čitava opšteljudska civilizacija.

*Milan M. Ćirković*



# 1

## Uvod

Od svog začetka, fizika je bila ujedno individualni i društveni poduhvat. Kao nauka, nastala je u naučnim zajednicama u kojima su se okupljali pojedinci sa zajedničkim ciljevima. Te zajednice su finansirali aristokrati, bogati preduzetnici, nacionalne vlade i međunarodne organizacije, a i danas je tako. Specifični ekonomski uslovi, kao i raspoloživa tehnološka dostignuća, tokom vremena omogućili su razvoj fizike i definisali njene granice.

Fizika je, takođe, koliko eksperimentalna toliko i teorijska disciplina. Eksperimentisanje u fizici veoma je osetljivo na promene ekonomskih uslova i direktno zavisno od tehnološkog razvoja: ekonomski, tehnološki i društveni uslovi omogućavaju primenu različitih tehnika i metoda eksperimentisanja, a samim tim i nameću različita ograničenja ne samo eksperimentalnom znanju, nego i teorijskom.

Ova knjiga će se baviti: prvo, ekonomskim, tehnološkim i organizacionim uslovima, koji zajedno s aktuelnim teorijama utiču na promenu graničnih uslova eksperimentalne prakse u modernoj fizici; drugo, time kako te promene stvaraju suštinski drugačije epistemološke kontekste u kojima fizičari obavljaju eksperimente i izvode zaključke na osnovu njih. Promene graničnih uslova menjaju način eksperimentisanja, pre svega način prikupljanja i analize podataka. A to zauzvrat značajno utiče na razvoj teorija.

Kada je reč o opisu trenutnog stanja istraživanja u fizici čestica, na jednom kraju spektra je tendencija da se ona prikaže kao zrela

faza jedne naučne discipline. Ovaj stav naglašava fizička, objektivna ograničenja, minimizira ili u potpunosti eliminiše druge faktore koji mogu biti relevantni, a njime se nagoveštava da je trenutno stanje, kao završna faza putanje razvoja, neizbežno. Na drugom kraju spektra je shvatanje da trenutno stanje fizike čestica pretežno predstavlja ishod društveno i politički motivisanih odluka. Po svojoj prilici, istina je između. Trenutno stanje u fizici čestica je, s jedne strane, složena kombinacija objektivnih ograničenja i, s druge strane, ključnih odluka motivisanih brojnim faktorima koji su oblikovali razvojnu putanju discipline.

Mi ćemo se usredsrediti na analizu eksperimentalne prakse fizike u 20. veku, imajući u vidu sledeća tri međusobno povezana elementa koji će se pokazati kao ključni: 1) eksperimentalna raznovrsnost, 2) uloga posmatrača u eksperimentalnom procesu i 3) metode prikupljanja evidencije o eksperimentima. Pokazaće se da su elementi koji određuju eksperiment početkom 20. veka i koji su doveli do razvoja kvantne mehanike mnogo sličniji eksperimentalnoj praksi iz 17. veka nego što je to slučaj s posleratnom fizikom čestica u laboratorijama visokih energija. Promene u graničnim uslovima rezultirale su promenom sva tri uvedena elementa koji karakterišu eksperimentalnu praksu, čime je oformljen veoma specifičan epistemološki kontekst mnogo bliži epistemološkom kontekstu, recimo, savremene posmatračke astronomije nego eksperimentima u klasičnoj fizici. Eksperimentisanje u oblasti viših energija dalo je izuzetne rezultate, ali uz određene posledice. Prva je minimiziranje bekonovskog imperativa za višestranim pristupom u istraživanju fenomena koji omogućava eksperimentalnu raznolikost; druga – veliki kompromisi koji se tiču posmatračkog procesa; i treća, korišćenje metoda prikupljanja evidencije koji teorije sve više izlažu opterećenosti evidencijom (engl. *theory ladenness*, TL). Mi ćemo razmatrati dileme s kojima su se fizičari suočili, pozadinu njihovih odluka, kao i nastale epistemološke kontekste u koje je eksperimentalna fizika dospela, a što je dovelo do novih epistemoloških izazova za fiziku. U svetlu ove analize razmotrićemo i to kako su sva ta dešavanja uticala na teorijski razvoj u



fizici, mogućnost da fundamentalna fizika prolazi kroz veliku krizu, kao i promene graničnih uslova koji bi joj mogli pomoći da iz te krize izađe.

Postoji ograničena količina raspoloživih resursa koje su pojedinci ili društva spremni da potroše na nauku. Ti resursi se distribuiraju na različite načine. Ponekad se veoma specifičan, zahtevni projekat favorizuje u odnosu na mnoge druge, dok je u drugim slučajevima distribucija sredstava mnogo ravnomernija. U načelu, takva ekonomska ograničenja mogu da se prevaziđu uz tehnološki napredak koji omogućava izvođenje eksperimenata po mnogo nižoj ceni.

Organizacija laboratorija je u velikoj meri varirala tokom četiri stotine godina razvoja moderne fizike, od malih „kuhinjskih“ laboratorija, do eksperimentalnih institucija u kojima su zaposlene hiljade fizičara. Takođe, ciljevi i struktura eksperimenata oblikuju se kroz postojeći teorijski okvir, a ne samo socijalni okvir, iako je latituda kojom se ovaj uticaj odvija veoma široka. Često teorije nisu ništa više od predloga za vrstu fenomena koje bi trebalo eksperimentalno istražiti, dok su nekada eksperimenti osmišljeni tako da testiraju veoma specifična predviđanja izvedena iz hipoteza koje se odnose na vrlo uzak empirijski domen, pa ih sama teorija direktno determiniše.

Kombinacija različitih ekonomskih, tehnoloških, organizacionih i teorijskih graničnih uslova dovešće do značajno različitih epistemoloških konteksta. Videćemo kako se takva promena odigrala u fizici čestica, u 20. veku. Na početku prošlog veka intenzivno eksperimentisanje sa pojavama svetlosti i zračenja oblikovalo je napredak u teoriji koji je doveo do kvantne mehanike. Eksperimentisanje se odvijalo u *bekonovskom duhu* jer je pažnja bila usmerena na što veći broj različitih aspekata fizičkih fenomena koji mogu biti bitni. Raznovrsnost u eksperimentisanju može biti suštinski značajna za produktivno eksperimentisanje iz nekoliko razloga. *Variranje parametara u pojedinim eksperimentima i proučavanje relevantnih fenomena pomoću različitih instrumenata i tehnologija, u raznim eksperimentima, pruža čvršće epistemološko uporište u istraživanju fenomena (u njihovom opisu, stvaranju modela zasnovanih na njima i njihovim objašnjenjima).*

Značajne varijacije u eksperimentima možemo da kategorizujemo kao *eksperimentalnu raznolikost* u pogledu izvora energije, fizičke vrste meta i tehnika detekcije. Kada se analizira u svetlu ovih kriterijuma, eksperimentisanje koje je dovelo do kvantne mehanike pokazuje se kao *robusno raznoliko*. U stvari, ono se odvijalo u nekoliko eksperimentalnih ciklusa, pri čemu je u fokusu svakog ciklusa bio poseban skup pojava koje su istraživane pomoću novih tehnologija i instrumenata u različitim eksperimentalnim centrima. Mi ćemo se usredsrediti na rane eksperimente koji su predstavljali takav ciklus i ukazati na druge cikluse iste strukture koji su uključivali eksperimente sa spektralnim linijama, Komptonovim efektom, sudarima itd. Inovativne eksperimentalne tehnike postepeno se stapaju u svestrani eksperimentalni aparat pred kraj svakog ciklusa, što čini prelaz ka *nerobusnoj vrsti eksperimentalne raznolikosti*. Takvo eksperimentisanje uglavnom se ne oslanja na nove eksperimentalne tehnike u ispitivanju fenomena, već na kombinovanje postojećih.

Svaki ciklus je oblikovao određeni deo teorijske slagalice koja se postepeno uspešno sintetizovala u kvantnu mehaniku. Pritom je presudno bilo to što je raznoliki eksperimentalni kontekst predstavljao plodno tle za raznovrsne teorijske pristupe koji su se pokazali kao adekvatni, u rasponu od diferencijalne Šredingerove talasne jednačine do Hajzenbergovog algebarskog pristupa. Ovi pristupi bili su prožeti različitim epistemološkim stavovima, od Šredingerove metafizike kontinuiteta prostora do Borovog eksperimentalnog pragmatizma, kao i različitim ontološkim koncepcijama koje su iz njih proistekle.

*Dakle, epistemološki kontekst eksperimentisanja u fizici na početku 20. veka po svom duhu bio je bekonovski; karakterisala ga je robusna raznolikost i direktno učešće eksperimentatora u svakom stadijumu eksperimenta, od njegovog osmišljavanja do analize i tumačenja podataka.* Koristeći opis koji daje Friman Dajson (1998, 50) možemo konstatovati da je u kvantnoj mehanici revolucija koju je pokrenuo razvoj tehnologije išla ruku podruku s revolucijom kojoj su motivacija bili

novi koncepti strukture mikrosveta, ili ju je čak možda omogućila.<sup>1</sup> Ovaj tok je postepeno doveo do stvaranja dubokih i širokih empirijskih osnova za izgradnju uspešne fundamentalne teorije. Takav epistemološki kontekst predstavljao je pogodno tle za energičan razvoj eksperimentalne i teorijske fizike, što je rezultiralo ubiranjem pristupačnih plodova, tj. otkrićem čestica koje su postojale na prilično niskim energijama. Otkrića su se obavljala pomoću dostupnih aparata za izvođenje eksperimenata, a za te aparate nisu neophodni ekstremno visoki budžeti i mogu se napraviti u više nezavisnih laboratorija.

Posle otkrića fotona, elektrona, protona i neutrona, pokazalo se da je mnogo više energije bilo potrebno za proučavanje čestica koje se pojavljuju u relevantnim interakcijama. Ovo je postalo jasno na osnovu novih teorijskih dostignuća i eksperimenata s kosmičkim zracima koji su obezbedili dovoljno visoke energije i proizveli nekoliko ranih pokazatelja o tome kakva bi mogla da bude dublja struktura materije. Eksperimenti s kosmičkim zracima bili su nestabilni pa je stoga bilo potrebno da se osmisle kontrolisani eksperimenti na sličnim energijama. Neslaganje među fizičarima iz celog sveta o mogućem ishodu ovakvih istraživanja razrešeno je u ranim 50-im godinama 20. veka, i od tada počinje period izgradnje velikih fizičkih laboratorija. To se poklopilo sa iskustvom vodećih fizičara iz Drugog svetskog rata, stečenim u radu na projektu Menhetn – projektu izrade atomske bombe – kao i sa spremnošću vlada da finansiraju tako obimne projekte u fizici.

Da bi se dobro razumele promene u vidu eksperimentalne raznolikosti, usredsredićemo se na tri faze razvoja američke nacionalne laboratorije Fermilab. *Istorija tog razvoja dobro ilustruje kako je imperativ za postizanjem što viših energija smanjio eksperimentalnu raznolikost.* Generalno, laboratorije su se različito razvijale, a granični uslovi koji su ih oblikovali prepleteni su u njima na različite načine, što je imalo

---

<sup>1</sup> Sam Dajson je isticao da je kvantna mehanika odličan primer naučne revolucije za koju su motivi bili koncepti. Nju je, takođe, kao što ćemo pokazati, motivisala silovita revolucija u domenu eksperimentalnih tehnika i instrumenata.

značajne posledice po nova otkrića i napredak teorije. Premda putanja razvoja Fermilaba nije bila istovetna s razvojnim tokovima drugih laboratorija, sve su one prošle kroz drugu i treću fazu karakterističnu za istorijat Fermilaba. U prvoj fazi laboratorija je poslužila kao osnova za izgradnju raznih eksperimentalnih konstrukcija i pritom se često koristila oprema napravljena izvan same laboratorije. Tu fazu su obeležili brojni pojedinačno koncipirani i razvijeni eksperimenti. Laboratorija je u stvari predstavljala okvir za korišćenje velikog broja eksperimentalnih aparata i tako je praktično ona sama bila jedan *nerobusno raznolik eksperimentalni instrument*. Takođe, tehnike koje su se primenjivale u sve tri faze sporo su se razvijale u odnosu na razvoj početkom 20. veka i skoro sve su bile bazirane na fizičkim principima koji su utemeljili tehnike izmišljene pre 1930.

U drugoj fazi drastično je smanjen broj eksperimenata. Naučnici su se koncentrisali samo na nekoliko onih koji su veoma dugo trajali. Zamisao je bila da se poveća efikasnost istraživanja u laboratoriji. Tokom ovog perioda je takođe ubrzana automatizacija eksperimentalnog procesa koji je u potpunosti zavladao u trećoj fazi rada kolajdera. Za razliku od akceleratora sa fiksnom metom, kolajderi su obezbedili mnogo veće energije, zahvaljujući ubrzanju čestica s obe strane sudara, čime se dvostruko povećava energija sudara. Ali izrada kolajdera toliko mnogo košta, da je izgrađeno samo nekoliko. Oni koriste svu raspoloživu energiju i nikada se ne demontiraju, tako da smanjuju broj eksperimenata na nekoliko, i to onih koji se izvode u veoma dugim vremenskim periodima.

Smanjena raznolikost je samo prva posledica novog načina eksperimentisanja u fizici čestica. Druge dve su promena prirode procesa posmatranja i promena u procesu prikupljanja evidencije. Ove su promene rezultat kako praktičnih tako i fizičkih ograničenja. One su, takođe, rezultat svesnih odluka, vođenih motivacijom da se ostvaruju sve viši energetske nivoi, koliko je god to moguće u datom trenutku.

Što se tiče promene u procesu posmatranja, kolajderi koji su mogli da pruže dovoljno visoke energije u to vreme su bili *proton-proton* ili *hadronski kolajderi*. Interakcije u njima su rezultirale zapanjujućim

brojem propratnih interakcija tzv. *partona* (kvarkova i gluona) koji sačinjavaju protone. Zbog toga su se morali razviti složeni sistemi detekcije i postići automatizacija celokupnog eksperimentalnog procesa te je valjalo izabrati interakcije koje će biti snimane, zatim one koje će se analizirati i na kraju one koje su potencijalno relevantne i nove. Eksperimentatore koji dizajniraju eksperiment, skeniraju i analiziraju snimke na fotografskim pločama i formiraju pretpostavke o tome šta je primećeno, postepeno su zamenili profesionalni tehničari koji su pretraživali snimke, a kasnije i automatizovane mašine koje su obavljale taj zadatak. Osmišljavanje i koncipiranje eksperimenata obično se prepuštalo i teoretičarima izvan sve većih i složenijih laboratorija, dok su se eksperimentatori specijalizovali samo za pojedine delove mašinerije i eksperimentalnog procesa. To je podstaklo eksperimente kojima je cilj bilo *potvrđivanje određene hipoteze*. Pri tome su nezavisni teoretičari predlagali eksperimente za testiranje takvih specifičnih hipoteza, što nije bilo pogodno za *istraživačko eksperimentisanje* koje je po pravilu „labavo“ zasnovano na uskim preovlađujućim teorijskim pretpostavkama. Organizovanje čitavog tog procesa u svega nekoliko postojećih laboratorija te vrste, koje su mogle da budu finansirane iz dostupnih resursa, dovelo je do ubrzane centralizacije, uključujući na kraju i okupljanje praktično svih raspoloživih fizičara elementarnih čestica u svega nekoliko projekata.

Nasuprot tome, *linearni kolajderi* i upotreba *elektron–pozitron* interakcija u njima imali su mnogo niži broj sporednih interakcija, pa nije bilo potrebe za velikim promenama u procesu posmatranja koje bi smanjile preciznost, direktnost i istraživački potencijal. Ipak, takvi kolajderi do nedavno nisu mogli da postignu visoke energije poput hadronskih kolajdera. Većina fizičara odlučili su da se nose sa izazovima koji utiču na ceo eksperimentalni proces, kako bi u datom trenutku ostvarili najviše moguće energije u hadronskim kolajderima, umesto da se koncentrišu na postepeno povećavanje energija tokom dužeg vremenskog perioda u linearnim kolajderima, što bi kao prednost imalo mnogo manje kompromisa u procesu detekcije.

Zbog pomenutih promena koje su se odigrale u posmatračkom procesu, ovakav izbor značajno je uvećao mogućnost da se u procesu detekcije previdi neki ključni fenomen koji, gledano iz ugla dominantne teorije, predstavlja anomaliju za koju se potencijalno može pokazati da je suštinski značajna za napredak teorije – u obliku opovrgavanja ili ključnog proširenja standardnog modela fizike čestica. Kao što ćemo videti, upravo je eksperimentisanje na nižim nivoima energije koji su se postizali, u kontekstu poluautomatizovanih režima detekcije, a kojim su se bavili fizičari uključeni u svaki nivo eksperimenta, dovelo do nekoliko velikih otkrića tokom 70-ih godina prošlog veka. Nije bilo verovatno da će se ta otkrića dogoditi u potpuno drugačijem režimu detekcije. Glavni primer za to je otkriće  $J/\psi$  čestice i jedne vrste  $k$  mezona. Pored toga, pojedina ključna otkrića nisu ostvarena u određenim laboratorijama zbog eksperimenata usko orijentisanih na postojeći teorijski okvir ili zbog potpuno automatizovanih procesa detekcije.

Posle ovih razmatranja okrenućemo se promeni koja se tiče prirode prikupljanja evidencije u fizici visokih energija. Jedno od klasičnih razmatranja u filozofiji nauke odnosi se na stepen do kog su *eksperimenti opterećeni teorijom* koju testiraju. Odgovarajući primeri „kuhinjskih eksperimenata“ pogodni su za razumevanje ovog problema. Jedna strana u debati tvrdi kako nije nužno da eksperimenti budu opterećeni teorijom, zato što eksperimentalne tehnike i statističke metode otkrivaju pojave za kojima tragamo – i uspešno ih odvajaju od šuma i fenomena koji liče na traženi signal, a samo su nuspojave (artefakati) funkcionisanja eksperimentalnog aparata – i te pojave se tek naknadno povezuju sa izvesnom teorijom. Druga strana pak tvrdi da se u svakom koraku u rasuđivanju o posmatranim pojavama na neki način podrazumeva teorija. Mi ćemo razmatrati ovu raspravu u meri u kojoj se ona odnosi na analizu klasičnog otkrića slabih sila u fizici visokih energija. U već poznatim „kuhinjskim“ eksperimentima operativna teorija mernog instrumenta ne može da se osloni na teoriju koja se testira jer bi se tako zapalo u začarani krug usled opterećenosti tom samom teorijom; taj krug može se izbeći kalibracijom drugim mernim instrumentom čije funkcionisanje se zasniva na sasvim drugoj teoriji.

Kako se otkrivene čestice sve indirektnije posmatraju u hadronskim kolajderima, evidencija se konstruiše na sve posredniji način u odnosu na klasične eksperimente u fizici (recimo u odnosu na eksperimente s elektromagnetizmom) u kojima eksperimentator ima mnogo neposredniji uvid u pojave koje istražuje pa je u stanju da efikasno odvoji taj uvid od teorijskih pretpostavki i uspostavi ga kao nezavisnu evidenciju. Zbog novih eksperimentalnih okolnosti, u laboratorijama visokih energija sasvim se drugačije prikuplja evidencija. Kalibracija se ograničeno primenjuje, te umesto nje eksperimentatori koriste *proširene petlje evidencije*, kako ja nazivam taj fenomen. One počinju s operativnom teorijom oslanjajući se na testiranu teoriju koja bi trebalo da objasni ispitivani fenomen. Postepeno, međutim, širenje petlje smanjuje njenu „rđavost“. Petlja, dakle, započinje s početnim teorijskim pretpostavkama o posmatranoj pojavi. Delimično zbog tih pretpostavki prepoznalo se da je fenomen stvarni, a nije šum ili artefakt aparata. Eksperimenti se dalje izvode na osnovu njih i traga se za evidencijom koja će ih povrditi. Kada operativna teorija i teorijske pretpostavke dovoljno podupiru jedna drugu – tj. kada se smatra da su koherentne jedna s drugom – to se smatra momentom otkrića. *Ova procedura je mnogo sličnija procesima primenjenim u naukama koje prikupljaju posrednu evidenciju nego klasičnim eksperimentima u fizici. Ipak, tvrdim da, uopšteno gledajući, ovaj postupak ne može da se smatra problematičnim, poput klasičnih slučajeva u kojima su eksperimentalni rezultati kao i njihova interpretacija u velikoj meri podređeni postojećim teorijama, uključujući čak i teoriju koja se testira, zbog mnogo redukovanije prirode eksperimentalnih fenomena nego što je to slučaj u nekim drugim naukama ili pak drugim oblastima fizike.* Mada je to generalno slučaj, visok nivo sporednih, pozadinskih sekundarnih interakcija u hadronskim kolajderima čini ovaj posredni postupak prikupljanja evidencije znatno većim problemom nego što je slučaj s linearnim kolajderima.

Sve u svemu, bitno smanjena eksperimentalna raznolikost u kombinaciji s većom mogućnošću izostanka detekcije ključnih anomalnih pojava (koje potencijalno mogu da preokrenu ili prošire dominantnu

teoriju) i novih epistemološki rizičnijih metoda prikupljanja evidencije, značajno je promenila epistemološki kontekst fizike čestica. Premda je ovo eksperimentalni naučni poduhvat, njegova ograničenja i izazovi mnogo su sličniji onima koje srećemo u modernoj posmatračkoj nauci, kakve su, recimo, astronomija i astrofizika, nego u klasičnom eksperimentisanju.

Ove uvide ćemo na kraju iskoristiti ne bismo li rasvetlili raspravu o mogućnosti velike krize u fizici. Li Smolin (2006) smatra da je za poslednje tri decenije fundamentalna fizika bila vrlo neproduktivna zato što nije otkrila nijednu osnovnu silu niti novu česticu. On razmatra sociološke razloge zbog kojih se to desilo, a glavne uzroke vidi u neproduktivnosti preovlađujućeg teorijskog pristupa, teorije struna. Mi ćemo pokazati, međutim, da je promena u tempu otkrića u vezi s promenom epistemološkog konteksta eksperimentisanja i da promene u graničnim uslovima fizike visokih energija mogu uvećati raznolikost i, uz odgovarajući način, promeniti prirodu posmatračkog procesa, a sve to može dovesti do značajnih rezultata. Takođe ćemo razmotriti Dajsonovu i Čuovu kritiku fizike visokih energija kao i meganauke, kritiku koja trenutno stanje discipline tumači upravo kao posledicu promene eksperimentalnih uslova, kao i njihove naznake mogućih puteva budućeg razvoja koji bi najverovatnije obezbedili povoljan epistemološki kontekst, uprkos velikim ekonomskim ograničenjima.